

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**



TESIS

**“EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL RENDIMIENTO
DEL CULTIVO DE CEBOLLA BLANCA
(*Allium cepa* L.) EN EL VALLE DE CULIACÁN, SINALOA”**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

PRESENTA:
JUAN CARLOS CORDERO ARMENTA

DIRECTOR DE TESIS:
DR. CARLOS ALFONSO LÓPEZ ORONA

CO-DIRECTOR DE TESIS:
DR. GUADALUPE ALFONSO LÓPEZ URQUÍDEZ

CULIACÁN, SINALOA, ENERO DE 2019

Esta Tesis fue realizada por el **C. Juan Carlos Cordero Armenta**, bajo la dirección del Consejo Particular que se indica, ha sido **Aprobada** por el mismo y **Aceptada** como Requisito Parcial para obtener el Título de:

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

CONSEJO PARTICULAR

Director: _____
DR. CARLOS ALFONSO LÓPEZ ORONA

Co-Director: _____
DR. GUADALUPE ALFONSO LÓPEZ URQUÍDEZ

Asesor: _____
DR. TOMÁS DÍAZ VALDÉS

Asesor: _____
DRA. TERESA DE JESÚS VELAZQUEZ ALCARAZ

Asesor: _____
DR. ÁNGEL ROBERTO MARTÍNEZ CAMPOS

Culiacán, Sinaloa, enero de 2019

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	2
2.1. Bajos rendimientos.....	2
2.2. Daños a la agricultura por efectos del cambio climático.....	5
III. OBJETIVOS	7
3. 1. Objetivo general	7
3. 2. Objetivos específicos.....	7
IV. HIPÓTESIS	8
V. REVISIÓN DE LITERATURA	9
5. 1. Origen de la cebolla.....	9
5. 2. Morfología de la cebolla	9
5. 3. Clasificación botánica	10
5. 4. Importancia económica	11
5. 5. Requerimientos ambientales para el cultivo de cebolla	13
5. 6. Crecimiento de la cebolla.....	21
5.7. Servicios ambientales de la agricultura	22
5.7.1. Ciclo del carbono	23
5.7.2. Huella de carbono en la agricultura.....	24
5.7.3. Sistemas agrícolas como fijadores de CO ₂	24
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	26
6.1. Localización geográfica	26
6.2. Clima.....	27
6.3. Tipo de suelo.....	28
6.4. Riego	28
6.5. Preparación del terreno.....	29
6.6. Trasplante de plántula	29
6.7. Fertilización.....	30
6.8. Manejo de enfermedades.....	31
6.9. Manejo de malezas	32
6.10. Manejo de plagas.....	32

6. 11. Medición de planta.....	33
6.12. Análisis bromatológicos.....	35
Cálculos.....	36
6.13. Cosecha.....	45
6.14. Diseño experimental.....	45
6.15. Análisis estadístico.....	47
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
7.2. Peso de la cebolla.....	52
7.2. Relación diámetro y peso de la cebolla.....	59
7.3 Grados Brix en el bulbo de la cebolla.....	60
7.4. Constante térmica.....	63
7.5. Análisis bromatológico.....	65
VIII. CONCLUSIONES.....	67
IX. LITERATURA CITADA.....	70

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Clasificación botánica	10
Cuadro 2. Principales variedades de cebolla de día corto	20
Cuadro 3. Características de la cinta de riego	28
Cuadro 4. Fuente y dosis de fertilizante por hectárea aplicados para el desarrollo de la cebolla	31
Cuadro 5. Programación del destilador	36
Cuadro 6. Distribución de la unidad experimental para cada uno de los tratamientos y bloques	46
Cuadro 7. Distribución de las unidades de muestreo	47
Cuadro 8. Pruebas de normalidad aplicadas	48
Cuadro 9. Pruebas de normalidad aplicadas a los datos transformados	49
Cuadro 10. Análisis de varianza sobre la homocedasticidad de los datos	50
Cuadro 11. Análisis de varianza de los datos sobre el peso de cebolla	52
Cuadro 12. Grupos formados de las comparaciones por pares para Tratamiento (Tukey (HSD))	52
Cuadro 13. Análisis de varianza (Peso de cebolla): Oscilación térmica	55
Cuadro 14. Análisis de varianza (Peso de cebolla): Temperatura máxima	55
Cuadro 15. Análisis de varianza (Peso de cebolla): Temperatura mínima	55
Cuadro 16. Análisis de varianza de la regresión entre peso y diámetro de la cebolla	55
Cuadro 17. Prueba de Kruskal-Wallis / entre los tratamientos	60
Cuadro 18. Comparaciones múltiples por pares mediante el procedimiento de Dunn / Prueba bilateral:	61
Cuadro 19. Análisis de varianza de la regresión lineal entre la temperatura promedio máxima y la concentración de grados Brix	62
Cuadro 20. Análisis de varianza de la regresión lineal entre la oscilación térmica promedio y la concentración de °Brix	63
Cuadro 21. Fecha de siembra, días a cosecha y temperatura acumulada para la cebolla trasplantada cada semana	64
Cuadro 21. Análisis de varianza (Peso de cebolla): Temperatura promedio	64
Cuadro 23. Resultados de Análisis Bromatológicos	65
Cuadro 24. Equivalente de Fijación de Co ₂ total de la Planta	66

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Rendimiento de cebolla, año 2018	2
Figura 2. Comportamiento de la temperatura mínima en el proceso del cultivo de cebolla, periodo 1971-2000	3
Figura 3. Comportamiento de la temperatura máxima en el proceso del cultivo de cebolla, periodo 1971-2000	4
Figura 4. Comportamiento de la temperatura promedio en el proceso del cultivo de cebolla, periodo 1971-2000	4
Figura 5. Superficie siniestrada con los principales cultivos en Sinaloa O-I en 2011 (riego)	5
Figura 6. Planta de cebolla	10
Figura 7. Producción de cebolla en los principales estados O-I en Riego, año 2017	11
Figura 8. Superficie cosechada con cebolla en los principales estados O-I en riego, año 2017	12
Figura 9. Rendimiento de cebolla en los principales estados O-I en riego, año 2017	12
Figura 10. Localización del municipio de Culiacán, Sinaloa	26
Figura 11. Comportamiento de la temperatura durante el desarrollo del cultivo de cebolla	27
Figura 12 Distribución de cintas de riego en la zona de estudio	28
Figura 13. Uso consuntivo de la cebolla en la localidad de Quilá, Sinaloa	29
Figura 14. Plántula de cebolla en charola	30
Figura 15. Manifestación del mildiu en cebolla	32
Figura 16. Medición de diámetro ecuatorial de cebolla	33
Figura 17. Spad para medir el verdor de las hojas de cebolla	34
Figura 18. Balanza digital utilizada para pesar bulbo de cebolla	34
Figura 19. Refractómetro utilizado para medir sólidos solubles	34
Figura 20. Medición de plantas de cebolla	34
Figura 21. Digestor Büchi	37
Figura 22. Destilador	37
Figura 23. Serpentín del analizador de bolsas ankom	39
Figura 24. Analizador de fibras ankom 2000	39
Figura 25. SOXTEC TECATOR 2055 donde se determinó grasa	43

Figura 26. Mufla para la obtención de cenizas	44
Figura 27. Distribución de las plantas de cebolla en zigzag	45
Figura 28. Unidad de muestreo	46
Figura 29. Temperatura máxima promedio en el desarrollo del cultivo de cebolla	53
Figura 30. Temperatura mínima promedio en el desarrollo del cultivo de cebolla	53
Figura 31. Temperatura promedio en el desarrollo del cultivo de cebolla	54
Figura 32. Oscilación térmica promedio de la temperatura en el desarrollo del cultivo de cebolla	54
Figura 33. Influencia de la oscilación térmica en el rendimiento de la cebolla en Sinaloa	56
Figura 34. Influencia de la temperatura máxima en el rendimiento de la cebolla en Sinaloa	57
Figura 35. Influencia de la temperatura mínima en el rendimiento de la cebolla en Sinaloa	58
Figura 36. Relación entre peso y diámetro de la cebolla	59
Figura 37. Relación entre la concentración de grados Brix y la temperatura máxima promedio en Sinaloa	61
Figura 38. Influencia de la temperatura máxima promedio en el rendimiento de la cebolla en Sinaloa	62
Figura 39. Influencia de la oscilación térmica en la concentración de °Brix en Cebolla	63

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado para la realización de mis estudios de maestría.

A la Universidad Autónoma de Sinaloa por darme la oportunidad de ser uno de sus estudiantes.

A la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa por abrirme sus puertas y a través de sus profesores poder formarme como profesional.

Al Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa por permitirme ser parte de su programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias, así como también a todo el personal que ahí labora.

Agradezco enormemente a mi Director de tesis, el Dr. Carlos Alfonso López Orona por dedicarle esfuerzo, tiempo y ganas en mi formación académica y en la dirección de mi proyecto de tesis, agradezco sus consejos y apoyo siempre incondicional para resolver todas mis dudas. Al Dr. Guadalupe Alfonso López Urquídez por todo su apoyo para la realización de mi trabajo de tesis, así mismo, agradezco a mis asesores de tesis y a todos los profesores del área de Agroecología de la Facultad de Agronomía por apoyarme en todo momento en la realización de mis estudios de maestría.

A mis padres por su siempre incondicional apoyo y consejos para poder llegar a terminar mis estudios de Maestría. Muchas gracias padres por apoyarme y haber puesto su confianza en mí. Ustedes fueron los principales impulsores de que continuara con mis estudios y a los cuales debo todo, muchas gracias.

DEDICATORIA

A mis padres Mayra Rosa y Juan

Mis hermanos Lizbeth Mayran y Jordán Ulises

A mis amigos.

RESUMEN

La cebolla es uno de los cultivos alimenticios más importantes a nivel mundial. Sin embargo, la producción de esta hortaliza es condicionada por factores ambientales como la temperatura. El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo estudiar el efecto de la temperatura en el contenido de fibra, proteína, cenizas, °Brix y clorofila en el cultivo de cebolla. Así mismo, como un complemento también se analizó la capacidad de este cultivo en la captura de carbono, y así generar conocimiento que impacte en la calidad y rendimiento de la producción del cultivo. Con respecto a la oscilación térmica el coeficiente de determinación fue de 0.84, es decir, que esta variable dependiente explica el 84 % del comportamiento del peso del bulbo. Asimismo, se encontró que la correlación entre el peso y el diámetro de la cebolla fue de 0.943, es decir que el 94 % del comportamiento de una variable depende de la otra, donde el valor de la pendiente indica que por cada centímetro del diámetro de la cebolla, esta aumenta 98.6 g en peso. Conforme aumenta la temperatura máxima, disminuye la concentración de °Brix, encontrando que la variable independiente, determina el comportamiento del rendimiento en un 24 % y que por cada 0.1 °C que aumenta la temperatura máxima, la concentración disminuye 36 ° Brix. Así, conforme aumenta la oscilación térmica, disminuye la concentración de °Brix encontrando que el 63 % de esta variación se debe al comportamiento de la oscilación térmica, y que por cada 0.1 °C, la concentración disminuye 18.8 °Brix. Con respecto al análisis bromatológico no se encontraron diferencias estadísticas significativas. Así mismo, aunque no hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos en referencia a la fijación de bióxido de carbono, sí se observó una mayor concentración en el tratamiento que fue el que se desarrolló en condiciones de temperatura más bajas, teniendo un valor de 1.56 CO₂ (tCO₂ eq/ha).

SUMMARY

Onion is one of the most important food crops worldwide. However, the production of this vegetable is conditioned by environmental factors such the temperature. The objective of this research work was to study the effect of temperature on the content of fiber, protein, ash, °Brix and chlorophyll in the onion crop. Likewise, as a complement, the ability of the crop to capture carbon was also analyzed, and thus generate knowledge that impacts on the quality and yield of crop production. With respect to thermal oscillation, the coefficient of determination was 0.84, that is, this dependent variable explains 84 % of the behavior of the weight of the bulb. It was also found that the correlation between the weight and the diameter of the onion was 0.943, that is that 94 % of the behavior of one variable depends on the other. In addition, the value of the slope indicates that for each centimeter of the diameter of the onion, it increases 98.6 g in weight. As the maximum temperature increases, the concentration of °Brix decreases, finding that the independent variable determines the behavior of the yield in 24 % and that for each 0.1 ° C that increases the maximum temperature, the concentration decreases 36 °Brix. Thus, as the thermal oscillation increases, the concentration of °Brix decreases, finding that 63 % of this variation is due to the behavior of the thermal oscillation, and that for each 0.1 ° C, the concentration decreases 18.8 °Brix. Regarding the bromatological analysis, no significant statistical differences were found. Likewise, although there were no significant statistical differences between the treatments in reference to the fixation of carbon dioxide, a higher concentration was observed in the treatment that was the one that developed under lower temperature conditions, with a value of 1.56 CO₂ (tCO₂ eq / ha).

I. INTRODUCCIÓN

La cebolla (*Allium cepa* L.) es la segunda hortaliza alimenticia más importante a nivel mundial después del tomate y genera numerosos empleos. Sin embargo, el rendimiento promedio en el estado de Sinaloa es bajo (promedio de 24 t ha⁻¹) con relación a otras partes de México y del Mundo. Los bajos rendimientos son originados por diferentes factores, dentro de los cuales se encuentran factores abióticos como lo es la temperatura, la cual influye en los procesos biológicos de las plantas, lo que incluye el desarrollo de la cebolla en sus distintas etapas fenológicas.

Así mismo, la agricultura de Sinaloa ha sufrido grandes daños en los últimos años debido a fenómenos meteorológicos extraordinarios generados por efecto del cambio climático, el cual se debe a las actividades del hombre que implican la emisión de gases que provocan el efecto de invernadero, dentro de los cuales se encuentra la agricultura.

De acuerdo con la FAO, la agricultura puede contribuir a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero realizando, entre otras actividades, el uso de variedades de cultivo más eficaces, el manejo del suelo orgánico, la agricultura de conservación y sistemas agroforestales, reducir la emisión de gases de efecto invernadero, pues de acuerdo con esta organización, las tierras de pasto y cultivo bien manejadas pueden secuestrar cantidades significativas de carbono, pues el 40 % de la biomasa de la tierra, y con ella el carbono biológico, está directa o indirectamente manejada por agricultores, silvicultores o pastores.

Ante ello se optó por estudiar el efecto de la temperatura en el contenido de fibra, proteína, cenizas, °Brix y clorofila en el cultivo de cebolla. Como un complemento también se analizó la capacidad de este en la captura de carbono. Lo anterior para generar conocimiento que impacte en la calidad y rendimiento de la producción del cultivo.

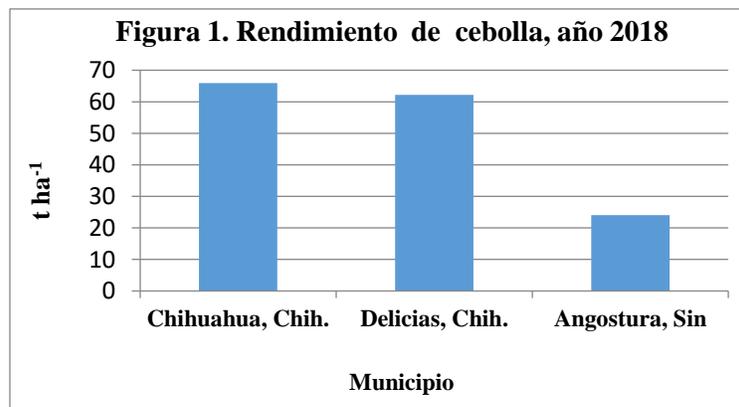
II. JUSTIFICACIÓN

2.1. Bajos rendimientos

En algunas partes del mundo, se tienen rendimientos muy altos en cebolla, por ejemplo, en Irlanda la productividad es de 68.75 t ha^{-1} (FAO, 2016). Así mismo en algunos estados de la República Mexicana también se tienen rendimientos aceptables, tal es el caso de Chihuahua, donde en 2017 se obtuvo un rendimiento de 54 t ha^{-1} (SIAP, 2018). Mientras que en Sinaloa, de acuerdo con la misma fuente y para ese mismo año, el rendimiento fue de solo 24 t ha^{-1} .

Evidentemente los bajos rendimientos son originados por diferentes factores, dentro de las cuales se encuentra el uso de material genético de poca calidad, el uso del sistema de riego rodado. A esto hay que añadirle que en los distritos de riego de Sinaloa donde se produce cebolla, no se tienen las condiciones climatológicas óptimas para el desarrollo de esta hortaliza.

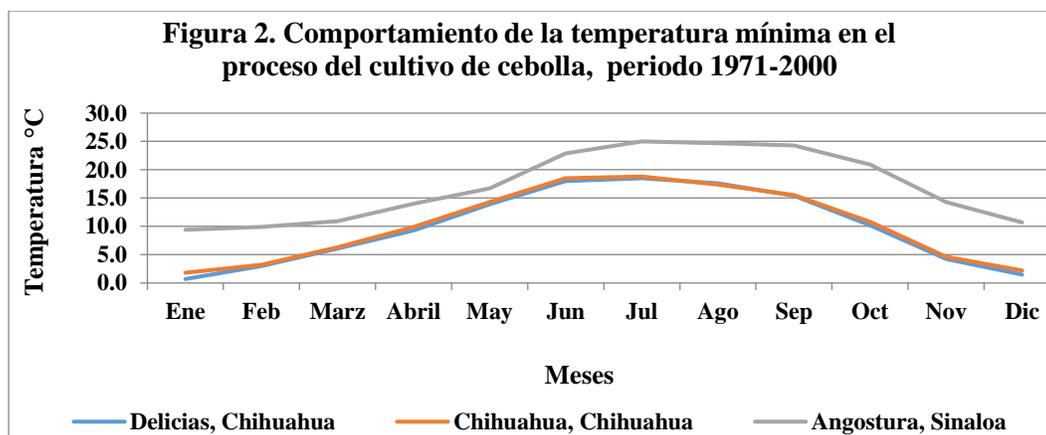
Haciendo un comparativo entre la zona productora de cebolla de Sinaloa, la cual se ubica en Angostura, con respecto a localidades del estado de Chihuahua donde también se produce esta hortaliza, se observan diferencias muy grandes. Por ejemplo, en 2018 en el municipio de Chihuahua, Chihuahua, se obtuvo un rendimiento de 65.88 t ha^{-1} y en Cd. Delicias el rendimiento, para ese mismo año fue de 62.15 t ha^{-1} . Por el contrario en Angostura, Sinaloa el rendimiento promedio fue de solo 24 t ha^{-1} , como se puede observar en la **Figura 1**.



Fuente: SIAP (2018)

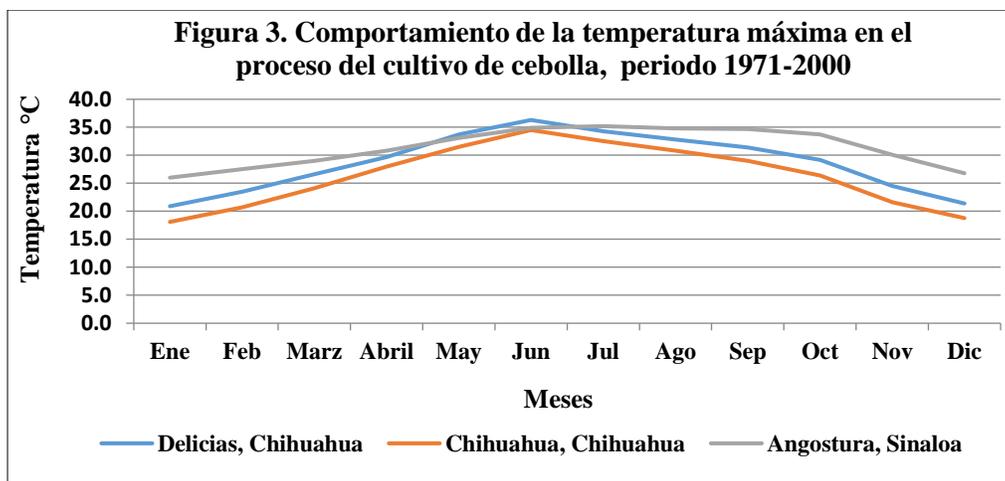
Una parte de la explicación a las diferencias de rendimiento tan grande expresado en la figura anterior, se encuentra en las condiciones climatológicas tan distintas que existen entre las zonas productoras de cebolla de Chihuahua con respecto a la región cebollera de Sinaloa.

En la **Figura 2** se muestran las temperaturas promedio mínimas de las tres localidades, observando que las temperaturas de Angostura están muy por encima de las temperaturas de las comunidades de Chihuahua. Se observa que los valores correspondientes a las dos localidades de Chihuahua son muy parecidos, teniendo una gran diferencia con respecto a Angostura. Por ejemplo, el mes de enero la localidad de Sinaloa tiene una temperatura mínima promedio de 9.4 °C, mientras que Cd. Delicias tiene un valor de 0.7 °C, es decir, una diferencia de 8.7 °C. Por otra parte, en marzo la temperatura mínima fue de 10.9 y 6.3 °C respectivamente, lo que representa una diferencia de 4.3°C.



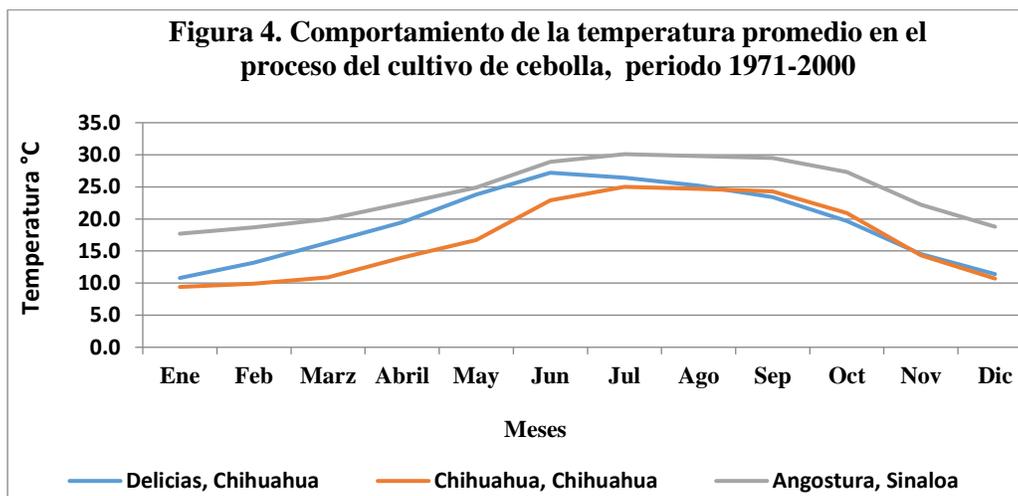
Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA (2015)

Con respecto a los valores de las temperaturas máximas se observa que durante el mes de marzo la temperatura promedio máxima es de 24.1°C, en Angostura es de 29 °C, lo que significa una diferencia de 4.9 °C., mientras que en abril es de 28 y 30.8 °C respectivamente, lo que representa una diferencia de 2.8 °C. (**Figura 3**).



Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA (2015)

En lo referente a las temperaturas medias mensuales, también se observa que en Sinaloa son muy superiores durante los meses de la temporada de siembra de cebolla, la cual puede comprender un intervalo de octubre a abril. En la **Figura 4** se observa, por ejemplo, que la temperatura media promedio de octubre en Angostura es de 27.3 °C, mientras que en Chihuahua es de 14.13 °C, lo que representa una diferencia de 13.7 °C. Estas diferencias de temperatura son enormes, lo cual también se refleja en la manifestación de los distintos procesos biológicos de las plantas, lo que incluye el desarrollo de la cebolla en sus distintas etapas fenológicas.

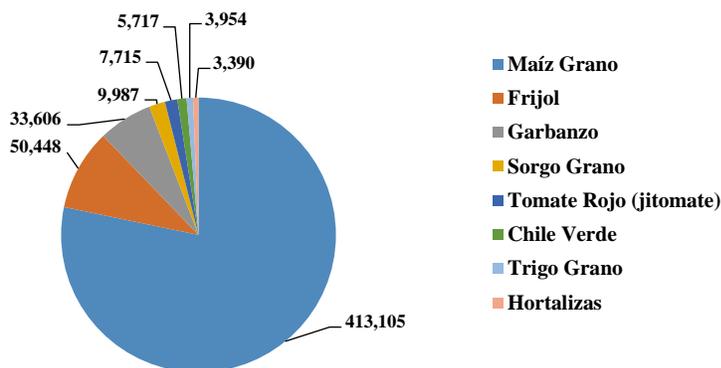


Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA (2015)

2.2. Daños a la agricultura por efectos del cambio climático

En la última década la agricultura de Sinaloa ha sufrido grandes daños debido a los fenómenos meteorológicos extraordinarios, que nunca se habían presentado con la magnitud que se han manifestado en los últimos años. Por ejemplo, en el 2011 la actividad agropecuaria del Estado fue seriamente afectada por las heladas que ocurrieron en febrero de ese año, las cuales causaron pérdidas enormes en la agricultura, a tal grado que se reportaron siniestradas 542,290.28 ha (SIAP, 2012). En la **Figura 5**, se muestra que el maíz fue el cultivo más afectado con 413,105 ha (SIAP, 2012).

Figura 5. Superficie siniestrada con los principales cultivos en Sinaloa O-I en 2011 (riego)



Fuente: SIAP (2012)

Por otra parte en septiembre de 2013 se formó el ciclón Manuel, el cual tocó tierra por la parte central de Sinaloa, provocando lluvias de alrededor de los 660 mm en los municipios del centro de la Entidad durante el tiempo que duró ese fenómeno. Esa cantidad representa el promedio de agua que se precipita en Culiacán durante todo el año.

Al año siguiente del ciclón Manuel, en marzo de 2014, se presentó un viento muy fuerte con remolinos provocando que gran parte del maíz sembrado en la zona centro de Sinaloa fuera derribado. El daño por esa causa se estimó en más de 50 mil hectáreas.

Indudablemente que estos fenómenos meteorológicos extraordinarios son un reflejo del cambio climático que está ocurriendo el mundo, el cual se debe a las actividades del hombre que implican la emisión de gases que provocan el efecto de invernadero, dentro de las cuales se encuentra la agricultura. De acuerdo con la FAO (2015), la agricultura contribuye al cambio climático, pues las emisiones de gases que provocan el efecto invernadero que provienen de la actividades agrícola y forestal representan más del 30 % de las emisiones anuales (la deforestación y degradación de los bosques el 17,4 %, la agricultura el 13,5 %).

La misma FAO señala que la agricultura también puede contribuir a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero realizando, entre otras actividades, el uso de variedades de cultivo más eficaces, el manejo del suelo orgánico, la agricultura de conservación y sistemas agroforestales, reducir la emisión de gases de efecto invernadero. De acuerdo con esta organización, las tierras de pasto y cultivo bien manejadas pueden secuestrar cantidades significativas de carbono, pues el 40 % de la biomasa de la tierra, y con ella el carbono biológico, está directa o indirectamente manejada por agricultores, silvicultores o pastores.

Ante ello se optó por estudiar el efecto de la temperatura en el rendimiento de fibra, proteína, cenizas, °Brix y clorofila en el cultivo de cebolla. Como un complemento también se analizó la capacidad de este en la captura de carbono. Lo anterior podrá generar conocimiento que impacte en la calidad y rendimiento de la producción del cultivo.

III. OBJETIVOS

3. 1. Objetivo general

Determinar el efecto de la temperatura en el rendimiento, contenido de fibra, proteína, cenizas, °Brix, y evaluar la capacidad de captura de carbono del cultivo de cebolla.

3. 2. Objetivos específicos

- 1.- Determinar el efecto que ejerce la temperatura en el contenido de fibra, proteína, cenizas, °Brix en el cultivo de cebolla.
- 2.- Determinar la capacidad de fijación de CO₂ del cultivo de cebolla.

IV. HIPÓTESIS

La temperatura ejerce un efecto en el rendimiento en la composición química del cultivo de cebolla. Así mismo, este representa una alternativa en la captura de carbono.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

5. 1. Origen de la cebolla

De acuerdo con Locascio (2005) la a cebolla es originaria de Asia central, sin embargo, su domesticación se ha realizado en varios lugares del mundo. Aunque esta hortaliza probablemente fue domesticada primeramente en las regiones montañosas de Turkmenistán y norte de Irán, por lo tanto el suroeste de Asia es considerado el centro de domesticación y variación. Mientras que otra región de gran diversidad es el Mediterráneo, al cual se le considera como un centro de origen secundario (Brewster, 2008).

Lo anterior sugiere que la cebolla se ha desarrollado bajo condiciones de clima desértico y con bajas temperaturas como ocurre en las montañas de Turkmenistán. Así mismo se ha desarrollado bajo las condiciones de clima de mediterráneo, el cual es templado con lluvias principalmente en invierno. Esta situación sugiere, de entrada, que esta hortaliza se desarrolla mejor bajo condiciones de bajas temperaturas.

5. 2. Morfología de la cebolla

A continuación se hace una pequeña descripción morfológica de la cebolla a partir de Mata (2011). La cebolla tiene un sistema de raíces formado por numerosas raicillas fasciculadas, de color blanquecino de poco tamaño. Estas salen a partir del tallo, el cual tiene forma de disco. A partir de este surgen las hojas, las cuales se componen de dos partes bien diferenciadas: una basal, formada por las "vainas foliares" engrosadas que sirven como órgano de reserva, y otra terminal, formada por el "filodio", que es la parte verde y fotosintéticamente activa de la planta. Las vainas foliares engrosadas forman las "túnicas" del bulbo, las más externas son apergaminadas y sirven como protectoras del resto del bulbo. **(Figura 6)**.

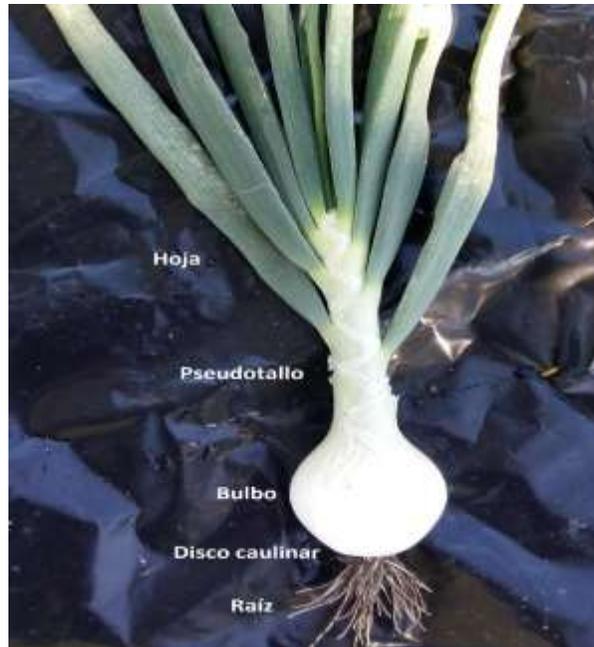


Figura 6. Planta de cebolla
 Fuente: Elaboración propia

El fruto de la cebolla es una cápsula con tres caras, de ángulos redondeados. Las semillas son pequeñas e irregulares de aproximadamente 2 mm de longitud de color negro,

5. 3. Clasificación botánica

La cebolla pertenece a la familia de las Amaryllidaceas y su clasificación taxonómica completa se muestra en el **Cuadro 1**.

Cuadro 1. Clasificación botánica

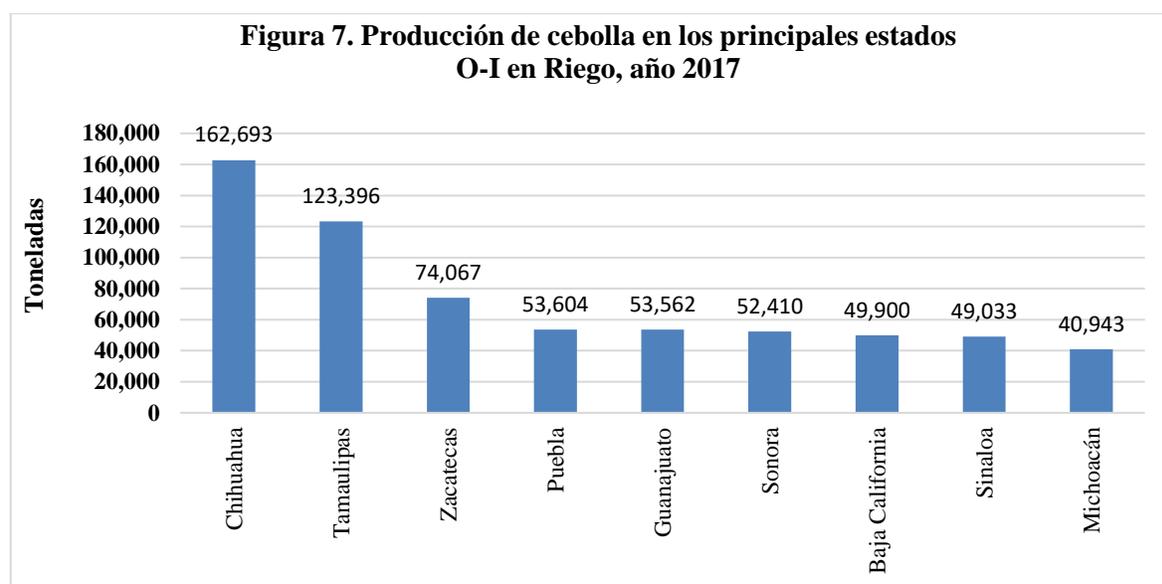
Nivel taxonómico	Nombre
Reino	Plantae
Subreino	Viridiniplantae
Infrareino	Streptophyta
Superdivisión	Embryophyta
División	Tracheophyta
Subdivisión	Spermatophytina
Clase	Magnoliopsida
Superorden	Lilianae
Orden	Asparagales
Familia	Amaryllidaceae
Género	Allium L.
Especie	Allium cepa L.

Fuente: Integrated Taxonomic Information System (ITIS, 2018)

5. 4. Importancia económica

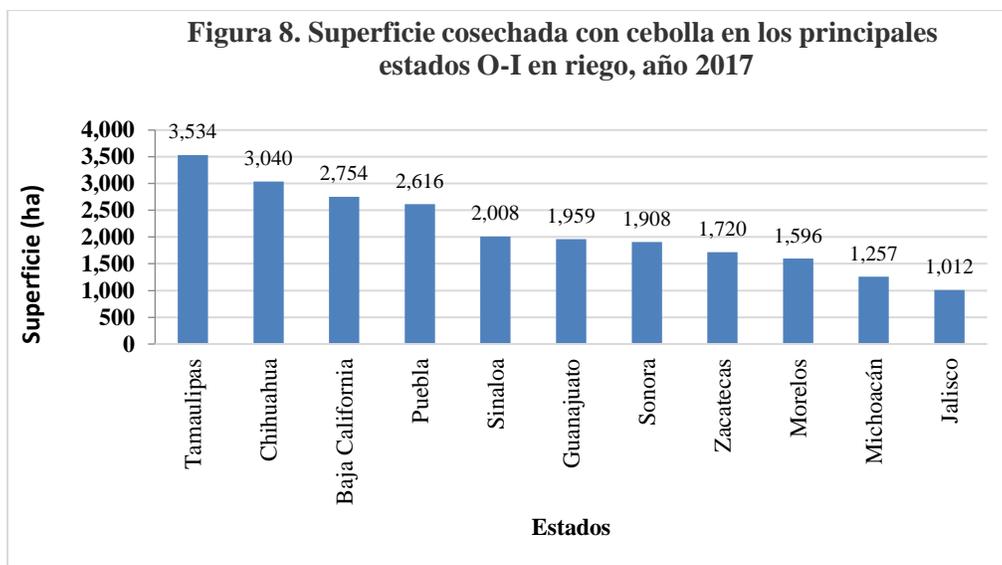
El principal productor de cebolla a nivel mundial es China, con una producción de 23 849 053 t, seguido por India 19 415 425 t y Egipto con una producción de 3 115 482 t, mientras que México tiene una producción de 1 635 049 t según datos de FAOSTAT (2016).

De acuerdo con el SIAP (2017), en México se cosechó un total de 43 131 ha con una producción de 1 365 688 t. Los principales estados productores de esta hortaliza a nivel nacional en 2017 en el ciclo Otoño-Invierno fueron Chihuahua con 162 693 t, Tamaulipas con 123 396 t, y Zacatecas con 74 067 t, mientras que Sinaloa tuvo una producción de 49 033 t (Figura 7).



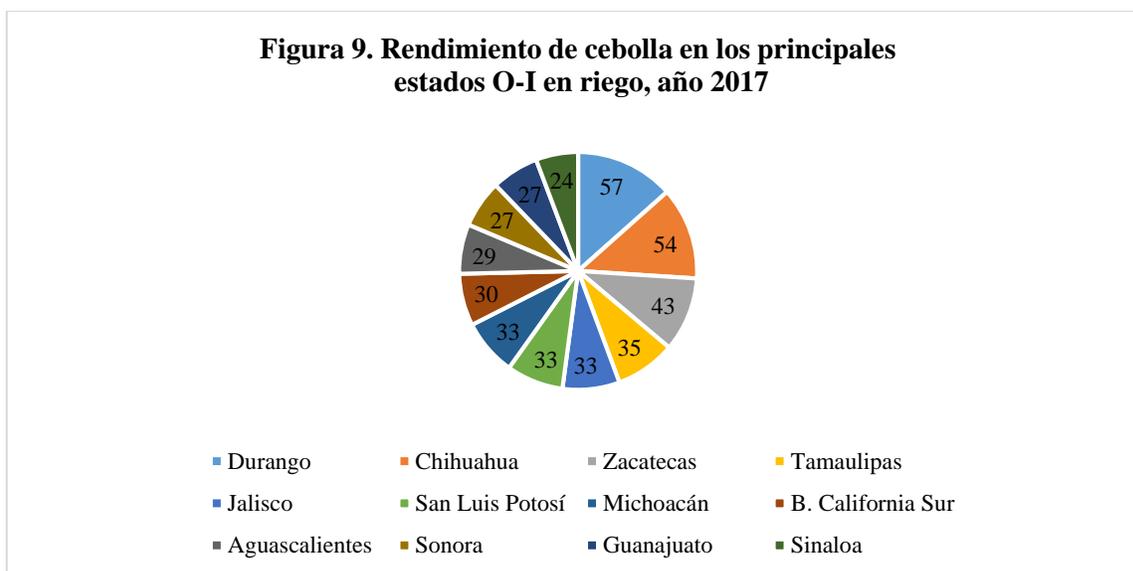
Fuente: Elaboración propia con base en datos de SIAP (2017)

Además en Tamaulipas se destinó la mayor superficie en el año 2017 ciclo O-I, con 3534 ha, seguido de Chihuahua con 3040 ha, tercer lugar Baja California con 2754 ha, Sinaloa destinó 2008 ha (Figura 8).



Fuente: Elaboración propia con base en datos de SIAP (2017)

En cuanto a rendimiento en la **Figura 9**, se muestra que el primer lugar lo ocupa Durango con un rendimiento de 57 t ha^{-1} , aunque solo cubrieron una superficie de 109 ha, seguido de Chihuahua con 54 t ha^{-1} , Zacatecas con 43 t ha^{-1} , en el caso de Sinaloa queda muy abajo con 24 t ha^{-1} .



Fuente: SIAP (2018)

5. 5. Requerimientos ambientales para el cultivo de cebolla

Las especies vegetales varían en cuanto al intervalo de tolerancia para los diferentes factores ambientales. En el caso de la cebolla, de acuerdo a las zonas del mundo donde se cultiva se puede decir que tiene una amplia tolerancia para las variaciones de temperatura, aunque, como cualquier otra especie tiene su punto óptimo para cada factor. Esta especie forma un bulbo que sirve como estructura para almacenar alimento para sobrevivir ante condiciones de muy baja temperatura. Es importante conocer los factores que influyen en la formación del bulbo, que para el caso de la cebolla es longitud del día, temperatura y variedad (Wien, 2006). Para esta investigación, el objeto de estudio es la influencia de la temperatura en el rendimiento de esta hortaliza.

5. 5. 1. Temperatura

La temperatura es un factor ambiental determinante en el rendimiento de las plantas lo cual incluye las temperaturas máximas, mínimas e incluso aquellos rangos en donde la planta no se encuentra sometida a estrés, cuando las plantas entran a un periodo de bajas temperaturas, para soportarlo pasan por una etapa de aclimatación, esto implica cambios bioquímicos y fisiológicos, lo que incluye modificaciones en la membrana celular, aumentando el contenido de proteínas solubles y azúcares. (McClung y Seth, 2010).

Se espera que con el cambio climático se tengan temperaturas más cálidas y con ello aumente la posibilidad de que se manifiesten eventos de temperaturas más extremas afectando la productividad de las plantas (Hatfield y Prueger, 2015). Bajo esta realidad existe mayor posibilidad de que las temperaturas del aire excedan el nivel óptimo para muchas especies de plantas, afectando de diferente y ello dependerá de las características anatómicas y fisiológicas de ellas (Hatfield y Prueger, 2015).

Para tratar de contrarrestar el efecto de invernadero, en muchos países se han buscado diferentes alternativas, entre ellas está el establecimiento de bosques como una forma de almacenar carbono en la biomasa sobre el suelo, sin embargo, al recomendar alguna alternativa, se debe hacer un balance entre los beneficios y las consecuencias que se tengan

con respecto al problema que se pretende contribuir a resolver, que en este caso sería la disminución de los gases con efecto invernadero y con el comportamiento de la temperatura (Whitehead, 2011).

Por ejemplo Bond-Lamberty y Thomson (2010) señalan que la respiración de los microorganismos del suelo pudiera incrementar la temperatura de la atmósfera, puesto que en este proceso liberan y aceleran el ciclo del bióxido de carbono, además de liberar energía. También se debe tomar en cuenta que los sumideros biológicos de carbono como por ejemplo los ecosistemas maduros, almacenan más carbono que las pérdidas del mismo por la respiración de los heterótrofos, cuando se les estimula para aumentar la productividad (Grace, 2014). Esto se puede transpolar a la agricultura, promoviendo el aumento de la productividad de los agroecosistemas. Además se debe tomar en cuenta que una de las recomendaciones que se hacen para tener una agricultura sustentable es incrementar la biota del suelo (Altieri, 2005).

Las diferentes especies de plantas han evolucionado existiendo bajo condiciones que casi nunca son las óptimas para su desarrollo y en algunos casos pueden estar en el límite de la sobrevivencia, para ello han desarrollado genes que producen genotipos ecológicamente adaptados (Shepherd y Griffiths, 2006, Odum, 1971).

Lo anterior sugiere que se debe investigar cuáles son las condiciones ambientales adecuadas para que se manifieste el máximo potencial genético de la cebolla. Esto significa que tanto en entornos naturales como agrícolas, las plantas están expuestas a estrés ambiental, el cual puede ocurrir durante meses, por ejemplo, estrés por nutrientes minerales; días o semanas por ejemplo, estrés por sequía; o incluso minutos, por ejemplo estrés provocado por variaciones bruscas de temperatura, ante lo cual las plantas responden de diferente manera (Reynolds-Henne *et al.*, 2010)

Una de las formas en que las plantas responden a las variaciones extremas de temperatura es la aclimatación. Al respecto Thomashow (1999), señala que la aclimatación al frío conlleva a muchos cambios bioquímicos y fisiológicos, incluidos alteraciones en la composición de la membrana, aumentos en el contenido total de proteínas solubles, e incrementos en los niveles de las proteínas y azúcares que permiten resistir la congelación, lo cual está determinado por

mecanismos regulatorios que se encuentran en los genes de esas plantas, que funcionan estabilizando las membranas celulares contra lesiones que pueden provocar las bajas temperaturas.

Las plantas también tienen adaptaciones para adecuarse a las altas temperaturas. En este proceso los cloroplastos sirven como centros metabólicos, siendo importantes en la adaptación fisiológica para enfrentar el estrés ocasionado por las temperaturas altas, pues el estrés por calor inhibe la actividad fotosintética al dañar componentes importantes que funcionan en el metabolismo de las plantas. Esto redundaría en la disminución de producción de biomasa y, por lo tanto, en el rendimiento de los cultivos, puesto que cuando el cloroplasto está sobreexcitado por las altas temperaturas y el oxígeno recibe la energía absorbida por la clorofila, está actuando como una molécula dañina que afecta a las células de las plantas reduciendo la actividad fotosintética, pues el cloroplasto es muy sensible al estrés por altas temperaturas durante la fotosíntesis (Wang, *et al.*, 2018).

Otra manera de cómo las plantas evitan el estrés por altas temperaturas es transpirando o conservando el agua en condiciones de sequía, pues las plantas han desarrollado mecanismos fisiológicos para soportar condiciones extremas o bien evitarlas, lo cual puede incluir la combinación de factores, como por ejemplo la resistencia a la sequía y a las altas temperaturas y donde la planta responde con acumulación de cera en la cutícula de las hojas (Shepherd y Griffiths, 2006). Esto permite que las plantas reflejen la luz solar, además se forma una capa que permite mayor retención de agua dentro de la planta. En el caso de la cebolla se observa una cutícula cerosa que cubre esa función.

Las plantas responden a los cambios de temperatura en una serie de escalas de tiempo, para ello existen muchas vías por medio de las cuales ellas captan del medio. El enfriamiento y el calentamiento alternan la fluidez de la membrana celular y elevan la cantidad de calcio libre intracelular, lo cual es considerado un evento fundamental en el control de las respuestas de la planta a la temperatura estresantes, Además es probable que los cambios de temperatura ambiente no estresantes se detecten y traduzcan de manera diferente en comparación con la detección de cambios extremos de temperatura (McClung y Davis, 2010).

Las altas temperaturas pueden estresar a la planta de cebolla, induciendo a trastornos fisiológicos, causando una disminución en la velocidad del desarrollo de la hoja y en el número final de las mismas (Tesfay *et al.*, 2011).

A continuación se presentan los requerimientos de temperatura para el desarrollo de la cebolla. Esta descripción se basa en Ruiz, *et al* (2013), quienes a su vez consultaron a los siguientes autores: Benacchio, (1982; Brewster, 1982; Huerres y Caraballo, (1988); Santibáñez, 1994; Yuste, 1997. Las condiciones favorables para el desarrollo de la cebolla está en un rango de temperatura entre 10-25 °C, con un óptimo entre 15 y 20°C. Los autores señalan que los mejores rendimientos se logran bajo condiciones donde las temperatura máxima no es mayor que los 26 °C. La cebolla en su fase inicial se desarrolla mejor a temperaturas inferiores a los 18 °C. Mientras que al inicio de la formación del bulbo la temperatura más adecuada oscila entre los 15.6 y 25 °C. Asimismo, durante la formación del bulbo se requieren entre 18 y 25 °C. Además, la temperatura óptima para el desarrollo de las hojas oscila entre los 23 y 25 °C. Durante la formación del bulbo se requieren temperaturas entre 18 y 25 °C con una máxima no mayor a 35 °C. La mínima umbral está entre 2 y 5 °C. El crecimiento de las hojas es óptimo a 23-25 °C y el mayor número de hojas se obtiene a 25 °C. La temperatura para crecimiento cero es 5 °C, con una óptima para crecimiento de 12-23 °C y una mínima para desarrollo de 7 °C.

Por su parte Kalbarczyk y Kakbarczyc (2015), citando a Miedema, 1992; Parmar *et al.*, 2001; Adamicki y Nawrocka, 2005; Brewster, 1997 y Steer, 1980 , señala que las condiciones de temperatura para el desarrollo de la cebolla son las siguientes: La temperatura óptima para la germinación de la semilla, dependiendo de la variedad, fluctúa entre 10 a 20 °C, aunque las semillas comienzan a germinar a temperaturas tan bajas como 5 o 6 °C; la temperatura óptima para el enraizamiento de la cebolla es entre 10 y 15 °C. La temperatura mínima del aire para el crecimiento de las hojas de cebolla es de 6 °C. El desarrollo del sistema radicular durante este el período es reforzado por una temperatura del aire de 12-15 °C. Después de este período, aumentan los requisitos térmicos de la cebolla. Durante el crecimiento de los bulbos, la temperatura óptima varía de 16 a 20 °C. Para el doblado de la hoja y la madurez la temperatura del aire adecuada es de 20 °C o un poco más.

Para que la formación del bulbo ocurra la planta de cebolla debe llegar a determinado umbral térmico, una vez que se han acumulado horas calor (Lancaster *et al.*, 1996), la cantidad de horas dependerá de la variedad, ya que la cebolla es un cultivo adaptado a diversas condiciones climáticas, por lo que se cultiva tanto en zonas frías, templadas y cálidas (Tapia, 1999). De acuerdo con este autor, la cebolla se desarrolla en época de frío con un amplio rango de temperaturas y resistente a heladas que no pasen del punto crítico de $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Según el autor, la temperatura óptima para la germinación de la semilla oscila entre los $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ y los $24\text{ }^{\circ}\text{C}$, Además señala que la temperatura óptima para el crecimiento de la planta está entre los 18 y los $25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La cebolla requiere de entrar en el proceso de vernalización para la producción de semilla Ruiz, *et al* (2013) lo cual es muy importante porque para entrar en esa fase, la planta debe almacenar energía en sus tejidos, razón por la cual debe formarse ese el órgano de almacenamiento que es el bulbo.

5. 5. 2. Estudios sobre fecha de siembra

Gautam *et al.* (2006) realizaron un experimento para evaluar cuatro fechas de trasplante de cebolla dentro de un periodo fuera de temporada para el desarrollo de esa hortaliza, ellos encontraron que hubo diferencia significativa en el rendimiento pues una de las variedades obtuvo el mayor rendimiento del bulbo con 15.31 t ha^{-1} . Es decir, que a pesar que no era la temporada adecuada para el desarrollo de la cebolla, una fecha fue mejor que las otras, lo que pudiera ser una alternativa de siembra considerando los precios de comercialización.

Lancaster *et al.* (1996) realizaron un experimento en el que el diámetro del bulbo, el cuello y el número de hojas se midieron en el cultivo de cebolla en diferentes fechas de siembra evaluando tres variedades en dos lugares diferentes en Nueva Zelanda. El diámetro del bulbo se relacionó con el tiempo térmico acumulado antes del bulbo. Ellos encontraron que el bulbo solo se formó cuando se alcanzaron umbrales dobles de un tiempo térmico mínimo de 600 grados días y un fotoperiodo de 13.75 h. El tamaño final del bulbo podría predecirse a partir del tiempo en que inicie la bulbificación y la cantidad de hojas producidas después de ese proceso.

Carruso *et al.* (2014) evaluaron los efectos de cuatro tiempos de trasplante en combinación con tres densidades de siembra sobre el crecimiento, la productividad y la calidad del bulbo. Ellos encontraron que el rendimiento del cultivo, el peso medio del bulbo y el calibre disminuyeron significativamente desde el primer momento hasta el último momento de trasplante. Los indicadores de calidad del bulbo respondieron de manera diferente al tiempo de trasplante: peso seco, glucosa, fructosa, rafinosa, ácidos cítrico y málico y el contenido de vitamina C no cambió; el contenido de sólidos solubles, la sacarosa y el ácido oxálico aumentaron entre el 1 de febrero y el 18 de marzo, mientras que el contenido de ácido pirúvico, calcio, cloruros y nitratos disminuyó. La secuencia de los tiempos de trasplante dio como resultado un patrón complejo de variaciones de la composición mineral y del contenido de aminoácidos libres de los bulbos.

Steer (1980) estudió la influencia de la temperatura nocturna en la formación del bulbo en cebolla. El encontró que el crecimiento del bulbo fue más lento cuando la temperatura nocturna era 15 °C por debajo de la temperatura del día que a 5° por debajo de la temperatura del día. La cantidad de días desde la siembra hasta el inicio de la formación del bulbo disminuyó con el aumento de la temperatura nocturna. La tasa de crecimiento del bulbo incrementó después del inicio del aumento de la temperatura nocturna.

Reynolds-Henne *et al.* (2010) estudiaron la interacción entre la temperatura, la sequía y la apertura de los estomas en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y trebol rojo (*Trifolium pratense*) de la familia leguminosas. Ellos encontraron que cuando el agua no era limitante, los estomas se abrían en la oscuridad bajo estrés por calor. Asimismo, la sequía y el calor moderado provocaron un aumento de la temperatura de las hojas y de las oscilaciones de la temperatura ($\pm 3-4$ °C), atribuidas a la apertura y el cierre de las estomas, mientras que con temperaturas bajas, sequía y baja radiación fotosintética baja, el calor condujo a oscilaciones de la temperatura de la hoja en las plantas de control, mientras que la sequía causó el cierre del estoma, aumentando la temperatura de la hoja a 39 °C. Asimismo la apertura estomática ocurrió a altas temperaturas.

Kalbarczyk y Kakbarczyc (2015) evaluaron el efecto de la temperatura del aire en el rendimiento de cebolla. Ellos encontraron que el 56 % de la variabilidad del rendimiento se explicó por la temperatura del aire en el periodo final de emergencia al inicio de la flexión de la hoja. La disminución del rendimiento de la cebolla se debió a la ocurrencia de la temperatura excesiva. La temperatura promedio crítica durante el final del inicio de la emergencia del período de flexión de la hoja se determinó a 16.7 °C.

Lescay y Moya (2006) evaluaron cuatro variedades de cebolla, durante tres periodos, en dos localidades de la región oriental de Cuba. En una de esas localidades la temperatura media mensual fluctuó entre los 26.6 y 24 °C, mientras que en la segunda localidad, fue entre los 24.2 y 22.2 °C. Los autores encontraron que la temperatura influye en el rendimiento de la cebolla, disminuyendo el rendimiento al aumentar la temperatura.

Ikeda *et al.* (2019) estudiaron la influencia de la temperatura en el tamaño del bulbo y rendimiento en cebolla, para ello sembraron la semilla en distintas fechas de siembra. Ellos encontraron que había una disminución gradual significativa de las variables dependientes, conforme pasaba el tiempo. Así mismo encontraron que la temperatura alta inhibió el inicio de la hoja y una disminución en el número de hojas, que precedió al desarrollo del bulbo y estuvo estrechamente relacionada con el tamaño final del bulbo, indicando que el crecimiento del bulbo se detuvo a temperaturas relativamente altas. También encontraron que el tamaño del bulbo dependía de la temperatura acumulada.

A partir de lo anterior se infiere que uno de los factores más importantes para obtener altos rendimientos de cebolla es importante seleccionar la fecha de siembra adecuada para el clima y el medio ambiente del área de producción (Ikeda *et al.*, 2019).

5. 5. 3. Fotoperiodo

El proceso de formación del bulbo también está influenciado por el fotoperiodo (Lancaster *et al.*, 1996; Mata *et al.*, 2011). Como este factor depende directamente de la latitud, en México son más recomendables las variedades con fotoperiodo corto (Mata *et al.*, 2011).

Asimismo el nivel de influencia del fotoperiodo estará siendo afectado por la calidad e intensidad de la luz, pues la infra roja y altas intensidades de luz favorecen el desarrollo del bulbo (Bertaud, 1988). Al disminuir la duración del día la intensidad luminosa baja y esto es percibido por las hojas mandando señales a otras partes de la planta, iniciando la muerte progresiva de cebollas, pasando a la eliminación de las hojas (Chope *et al.*, 2012), entrando con ello en la dormancia.

De acuerdo con lo anterior, el efecto combinado de la temperatura y el fotoperiodo induce a la formación de bulbos de cebolla, aunque puede ser que en las zonas tropicales la temperatura sea un factor más determinante (Tesfay *et al.*, 2011).

Tanto la duración del día como las temperaturas varían a lo largo del año, por esa razón la fecha de siembra de la cebolla también influye en el rendimiento y calidad de la producción. El nivel de influencia de estos aspectos dependerá de las variedades (Brewster, 2008). En el **Cuadro 2** se muestran las variedades de cebolla de día corto que ofrecen las distintas compañías para que sean cultivadas en México.

Cuadro 2. Principales variedades de cebolla de día corto

Variedad	Maduración	Forma	Color de piel
Atacama	155-160 Días	Globo	Amarilla-Dorada
Gobi	155-160 Días	Globo	Amarilla-Paja
Don Victor	170-175 Días	Globo	Café-Dorada
Kalahari	170-180 Días	Globo	Amarilla-Dorada
Serengueti	170-175 Días	Globo	Amarilla-Dorada
Vulkana	158-163 Días	Globo	Amarilla-Paja
Dulciana	165-170 Días	Globo	Amarilla-Dorada
Caramelo	170-175 Días	Plana	Amarilla-Paja
Kristal	160-165 Días	Globo	Blanca
Althea	155-160 Días	Globo	Blanca
Carta Blanca	170-175 Días	Redonda	Blanca
Early Supreme	170-175 Días	Redonda	Blanca
Florentina	175-185 Días	Redonda	Blanca
Lambada	160-165 Días	Redonda	Roja
Matahari	175-180 Días	Redonda	Roja
Rasta	175-185 Días	Redonda	Roja

Fuente: <https://www.hortalizas.com/directorio/producto/sor-blanca/>

5. 6. Crecimiento de la cebolla

La cebolla forma un bulbo de almacenamiento para pasar el invierno en las regiones frías. Para ello entra en dormancia, la cual es provocada por procesos propios de la cebolla y por factores ambientales externos, sin embargo, los procesos que ocurren en la especie para salir de esta etapa, aún no está bien entendido, aunque se sabe que en el bulbo de la cebolla ocurre una serie de cambios bioquímicos y fisiológicos, lo que incluye contenido de agua, la concentración del sabor, carbohidratos, minerales y reguladores de crecimiento (Chope *et al.*, 2012).

El ácido hidrazida maleica puede modificar la fisiología de la cebolla, incrementando el periodo de dormancia, lo cual puede ayudar a prolongar la vida de almacenamiento de la cebolla (Isenberg y Ang, 1964; Wittwer y Sharma, 1950, citados por Russo, 2003). Al realizar un experimento con reguladores del crecimiento, este autor encontró que los reguladores del crecimiento aplicados exógenamente, no incrementan el tamaño del bulbo.

La formación de bulbos es la construcción de una estructura de almacenamiento ampliado compuesto por la base de las hojas y las escalas de bulbo (Wien, 2006). El tiempo que tarde para iniciar su formación es determinante en el tamaño que alcance este y el tiempo para llegar a la madurez (Lancaster *et al.*, 1996).

La deshidratación osmótica influye en la formación de vesículas en la membrana celular de la cebolla, se sugiere que una deshidratación osmótica rápida puede causar la deshidratación y muerte de la célula (Assani *et al.*, 2009). Esto puede ser utilizado para mejorar la vida de anaquel del bulbo evitando su brotación.

Sasikala y Pal (2013) analizaron el desarrollo de diez variedades de cebolla para estudiar los patrones de crecimiento en 45, 60, 75, 90 y 105 días después del trasplante (DDT), encontrando que el período más importante para fijar el peso y diámetro del bulbo, y en última instancia, el rendimiento, es el período entre 45 y 90 DDT. Encontraron que la tasa de asimilación neta, tasa de crecimiento relativo y el área foliar fueron altas en los días previos

al desarrollo del bulbo, por lo tanto se necesita que la planta se encuentre en óptimas condiciones de temperatura durante el periodo de 45 a 60 DDT. Las características fisiológicas deben ser atendidas cuando inicia el crecimiento rápido del bulbo, lo cual ocurre durante el lapso comprendido entre 45 a 75 DDT, para aumentar la producción y la productividad de la cebolla, considerando la altura de la planta, el diámetro de la hoja y el contenido de clorofila.

Por su parte Clark y Heath (1962) encontraron que antes del crecimiento del bulbo de la cebolla se incrementa el ácido 3-indolilacético (IAA), y posteriormente, de 5 a 7 días después, una disminución del mismo, llegando a concentraciones menores a las contenidas al inicio del incremento de dicho ácido. Los autores asocian el incremento del IAA con el estímulo para la formación del bulbo.

5.7. Servicios ambientales de la agricultura

Los beneficios que las personas han obtenido de la agricultura han sido inmensos. Actualmente, la agricultura alimenta a más de 6 000 millones de personas y en las últimas décadas, se han experimentado importantes incrementos de la productividad de la agricultura con la introducción de nuevas variedades y métodos de producción (Tilman *et al.* 2002).

Existen dos formas para mitigar el cambio climático: reduciendo la fuente de emisión o aumentando la cantidad de almacenamiento de gases de efecto invernadero en los sistemas terrestres (por ejemplo, a través de la absorción de carbono). Por consiguiente, la agricultura tiene una función doble en la mitigación del cambio climático, mediante la reducción de sus propias emisiones y por el aumento de la absorción de gases de efecto invernadero.

Con la actividad agrícola, el hombre aporta cantidades importantes de los tres principales gases de efecto invernadero: el dióxido de carbono, el metano y el óxido nitroso. Siendo el bióxido de carbono es el más importante. Las actividades agrícolas y los cambios en el uso de la tierra contribuyen en aproximadamente un tercio del total de emisiones de dióxido de carbono y son la mayor fuente de metano (procedente de la producción de ganado y de arrozales anegados) y óxidos nitrosos (principalmente por la utilización de fertilizantes inorgánicos nitrogenados).

La agricultura también desempeña una importante función como sumidero de carbono mediante su capacidad de absorber y almacenar gases de efecto invernadero, en especial el carbono en suelos y plantas.

La absorción de carbono implica aumentar su almacenamiento en sistemas terrestres, ya sea en la superficie o por debajo de la misma. Los cambios en las prácticas de uso de la tierra y el suelo pueden provocar a lo largo del tiempo una acumulación de carbono en el suelo.

La absorción de carbono presenta ventajas y desventajas como medio para atenuar el cambio climático. La principal ventaja es que tiene un costo relativamente bajo y puede ser aplicado fácilmente. Además, su extracción proporciona muchos beneficios, ya que el incremento de la biomasa radical y la materia orgánica del suelo resultantes mejoran la retención de agua y nutrientes, la disponibilidad de ingestión por las plantas y, por consiguiente, la productividad de la tierra.

Una de las mayores desventajas es que, al contrario de otras formas de mitigación del cambio climático, la absorción de carbono es reversible; de hecho, los cambios en las prácticas de gestión agrícola pueden acelerar o invertir el ritmo de absorción en un periodo de tiempo relativamente corto (FAO 2007).

5.7.1. Ciclo del carbono

El ciclo del carbono es uno de los cuatro ciclos biogeoquímicos, más importantes en la tierra. Este elemento químico fundamental de los compuestos orgánicos. El equilibrio del carbono en la tierra está en función de la interacción e intercambiando en los tres reservorios: el océano, la atmósfera y el sistema terrestre, tanto en biomasa-vegetación como el carbono orgánico del suelo (Sandoval 2003). Este elemento pasa de un depósito a otro por medio de procesos químicos, físicos y biológicos.

La atmósfera es el menor y el más dinámico de los reservorios del ciclo del carbono, donde se encuentra en forma de bióxido de carbono (CO₂). Cualquier actividad relacionada al uso del suelo que modifique su cantidad de biomasa, tiene el potencial de alterar la cantidad de

carbono almacenado y emitido hacia la atmósfera, lo que influencia directamente en la dinámica del clima de la Tierra (Rügnitz *et al.*, 2009).

5.7.2. Huella de carbono en la agricultura

Es evidente que la huella de carbono de los productos agrícolas será más elevada en los casos en los que se haya necesitado gastar mucha energía de origen fósil en su producción, manipulación y transporte. Esto ocurre, por ejemplo, cuando en climas fríos se necesita mantener la temperatura de un invernadero agrícola utilizando combustibles fósiles, o en los casos en los que los productos son transportados desde largas distancias en medios de transporte poco sostenibles. Sin embargo, definir el papel que desempeña un producto agrícola con relación al cambio climático nada más con su huella de carbono, es decir, solo contabilizar sus emisiones, no es adecuado, ya que no se tiene en cuenta el importante servicio ambiental que como sumidero de CO₂ desempeñan los cultivos agrícolas, por su capacidad fotosintética.

En consecuencia, la extensión del concepto de huella de carbono a la agricultura se debe hacer teniendo en cuenta que este sector, junto al forestal y el ecosistema marino, son los únicos que tienen capacidad de absorber o remover CO₂ de la atmósfera, esto lleva a hablar de “balance de carbono” en vez de “huella de carbono”, ya que en muchos de los cultivos agrícolas, dependiendo de las técnicas de producción, se obtiene un balance positivo, comportándose como sumideros netos de CO₂; es decir, fijan más CO₂ que el emitido en su producción y transporte.

5.7.3. Sistemas agrícolas como fijadores de CO₂

La FAO (2010), reconoce que la agricultura contribuye de manera importante al cambio climático, pero también proporciona un sumidero y tiene potencial para aliviarlo.

Victoria *et al.* (2010), mencionan que el tiempo de permanencia del carbono retirado de la atmósfera, es un aspecto fundamental del comportamiento de los reservorios agrícolas y de los sumideros en general. Reconocen que por muy pequeño que sea el periodo que el CO₂ permanece almacenado en la vegetación agrícola, no invalida a esta como reservorio.

Haciendo la comparación con un sistema forestal, cuando se produce un incendio, el CO₂ removido vuelve a la atmósfera de forma brusca. Además, el carbono almacenado en los productos forestales depende de la vida media de estos; si se utilizan como combustibles, este retorno se realizará de forma inmediata, pero si se emplean en la producción de envases o en la fabricación de papel, el CO₂ tardará más en volver a la atmósfera. Sin embargo, estos sistemas no han dejado de tener un papel importante en la mitigación del cambio climático, actuando como sumideros durante un tiempo.

En el caso de los sistemas agrícolas, obtienen el carbono de la atmósfera por medio de la fotosíntesis, proceso esencial para su crecimiento, cuando las plantas mueren, sus tejidos ricos en carbono vuelven al suelo y son descompuestos por los organismos vivos. La materia orgánica del suelo es, por tanto, la suma de los residuos orgánicos en diferentes grados de descomposición. También funciona como un enorme almacén de carbono, el cual no se acumula para siempre en el suelo, pues se libera cuando la materia orgánica es descompuesta por varios tipos de organismos aerobios que usan el carbono para su propio crecimiento. Este proceso libera nutrientes que pueden ser captados por las plantas pero también producen CO₂.

La cantidad de carbono que es retenido en el suelo o emitido a la atmósfera depende mayormente del método de cultivo utilizado. Cuando se ara la tierra, los residuos orgánicos frescos son intensamente mezclados en la capa superior del suelo, bajo estas condiciones, la actividad microbiana se acrecienta, lo que trae como consecuencia que la mayor parte del carbono orgánico del suelo se convierta en CO₂ atmosférico (Rochette 2005).

Por otro lado, la biomasa al ser utilizada como combustible, libera el carbono con una proporción carbono-energía (similar a la de carbón), sin embargo, la biomasa absorbió durante su crecimiento una cantidad igual de carbono de la atmósfera antes de su emisión, por lo que las emisiones netas de carbono de los combustibles de biomasa son cero durante su ciclo de vida (Wuebbles y Jain 2001).

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Localización geográfica

El estudio se realizó en el ciclo otoño-invierno 2016-2017 en un predio del Valle de Culiacán, ubicado a $24^{\circ}27'27.64''$ Latitud Norte, $107^{\circ}16'1.45''$ Longitud Oeste del meridiano de Greenwich y una altitud de 40 m (**Figura 10**).

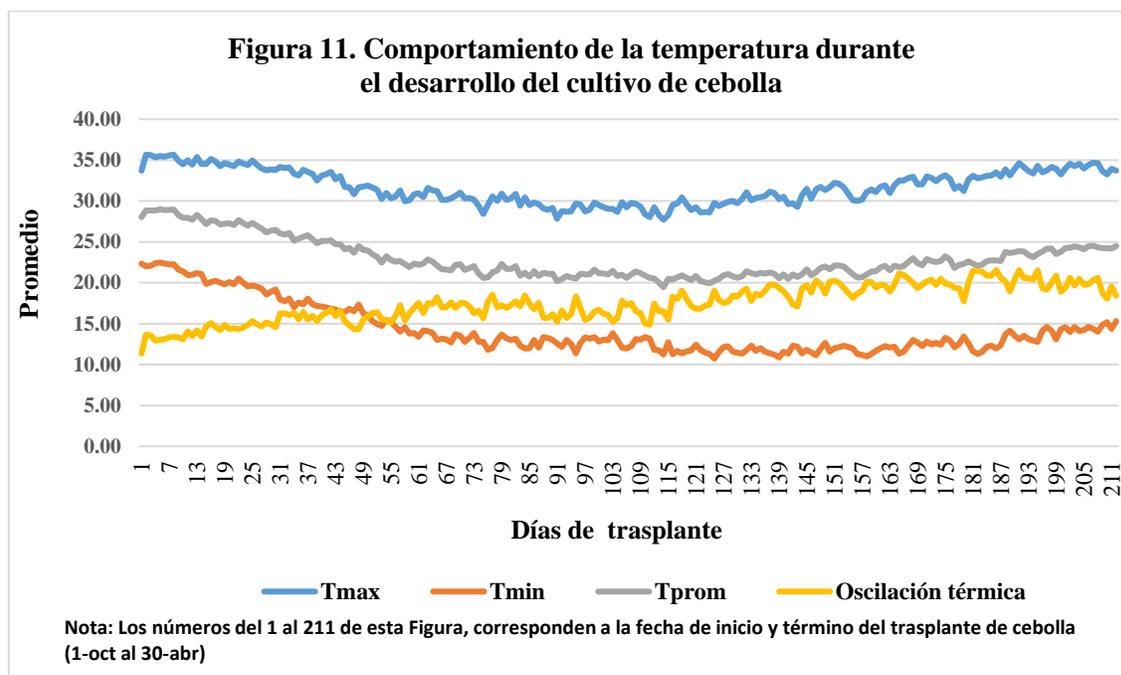


Figura 10. Localización del municipio de Culiacán, Sinaloa
Fuente: Elaboración propia.

6.2. Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por García (1978), el tipo de clima de la localidad de Quilá, Sinaloa, es donde se encuentra la estación meteorológica más cercana a la zona de estudio (7 km), es BSo(h' w (e), descrito como clima seco estepario (B) con un cociente de precipitación entre la temperatura menor que 22.9 °C (BSO), un régimen térmico muy cálido con una temperatura media anual de 26.8 °C y la temperatura del mes más frío de 18.6 °C (h'). La precipitación media anual es de 525.8 mm.

En la **Figura 11** se muestra el comportamiento diario de la temperatura promedio máxima, temperatura promedio mínima, temperatura promedio media y la oscilación térmica que ocurre desde que se dio el primer trasplante hasta la cosecha. En todos los casos se observa que al inicio del periodo todos los parámetros térmicos inician con una tendencia a la baja, hasta llegar a la mitad del periodo, donde inicia de nuevo el ascenso. El comportamiento térmico a lo largo del ciclo es importante, porque dependiendo de la fecha de siembra será el efecto que los distintos parámetros térmicos tenga sobre el desarrollo de la cebolla.



Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA (2015)

6.3. Tipo de suelo

Se determinaron algunas características fisicoquímicas del suelo donde se realizó el experimento. La conductividad eléctrica se determinó por el método de extracto de saturación (Aguilar *et al.*, 1987). El pH fue determinado utilizando un potenciómetro (Aguilar *et al.*, 1987). La textura del suelo se calculó con el método de Hidrómetro de Bouyoucus (Aguilera y Martínez, 1980). El método para densidad aparente fue por el de probeta (Cuevas, *et al.*, 2012).

El suelo donde se realizó el estudio es de textura franco arcilloarenosa con un 33.96 % de arcilla, 6 % de limo y 60.04 % de arena, con un pH 5.7 y una densidad aparte de 1.35.

6.4. Riego

Se instaló un sistema de riego por goteo, para ello se utilizó cinta de marca Ribulis con las especificaciones que se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Características de la cinta de riego

Díámetro (mm)	Espesor (mm)	Espaciamiento entre emisores	Caudal por emisor
16	0.2	20	1

Se colocaron tres cintas por cama como se muestra en la **Figura 12**. Esto permitió colocar 6 hileras de planta por cama.



Figura 12 Distribución de cintas de riego en la zona de estudio
Fuente: Elaboración propia.

Con los datos climatológicos de la estación meteorológica de Quilá, se procedió a calcular el uso consuntivo de la cebolla por el método de Blaney y Criddle (1950). Los datos de coeficiente de desarrollo de esta hortaliza se tomaron como base lo establecido por Garay (s.f.) y se identificó como **Kc**. Con esa información se estimó la cantidad de agua requerida para el cultivo, lo cual se observa en la **Figura 13**.

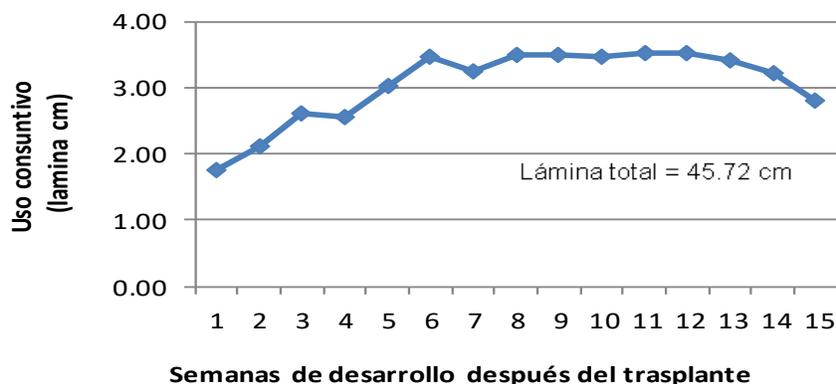


Figura 13. Uso consuntivo de la cebolla en la localidad de Quilá, Sinaloa

Fuente: Elaboración propia.

6.5. Preparación del terreno

El terreno se barbechó a una profundidad de 30 cm, posteriormente se realizaron tres rastreos cruzados y luego se pasó el cuadro para emparejar el terreno y romper los terrones. Posteriormente se marcaron las camas a una distancia de 1.60 m de centro a centro.

6.6. Trasplante de plántula

Producción de plántula

El híbrido utilizado fue “Carta Blanca” (Nunhems), híbrido de días cortos con bulbo de color blanco, forma redonda y madurez fisiológica a los 170-175 días después de la siembra.

Se produjo plántula en charolas realizándose el trasplante a campo al alcanzar una altura de altura aproximada de 20 cm en los nódulos de germinación, como se muestra en la **Figura 14**.



Figura 14. Plántula de cebolla en charola
Fuente: Elaboración propia

El trasplante se realizó cuando la plántula tenía un grosor aproximado de 4 mm, con este método se obtiene cebolla de forma y tamaño más uniforme.

6.7. Fertilización

En la fertilización del cultivo se utilizaron los seis macrolementos. La fuente de cada nutriente y la dosis de cada uno de ellos se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Fuente y dosis de fertilizante por hectárea aplicados para el desarrollo de la cebolla

Fuente	Formulación	Kg de fertilizante	N	Nitrato NO ₃ ⁻	Amonio NH ₄ ⁺	P P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	S
Urea	46-00-00	20	9.2	0	0					
Fosfato monopotásico	0-52-34	75	0			39	25.5			
Nitrato de potasio	12-00-46	75	9	9			34.5			0.9
Nitrato de calcio	15-00-00-30 (CaO)	100	15	15				30		
Nitrato de magnesio	11-00-00-16 (Mg)	175	19.25	19.25					28	
Fosfonitrato de amonio	33-04-00	450	148.5	74.25	74.25	18				
Sulfato de amonio	21-0-0-24 (S)	50	0		10.5					12
Ácido fosfórico	0-52-0	50	0			26				
Sulfato de potasio	0-0-52-17	75	0				39			12.75
		Calculado	200.95	117.5	84.75	83	99	30	28	25.65
		Requerido	200	58.47	42.17	80	100	30	27	25
		Diferencia	0.95			3	-1	0	1	0.65

Fuente: Elaboración propia

6.8. Manejo de enfermedades

Durante el desarrollo del cultivo se presentaron tres enfermedades: Mildiu (*Peronospora destructor*) de la cual se muestran los síntomas en la **Figura 15**; Botrytis (*Botrytis cinerea*); y la mancha purpura (*Alternariaporri*). Para ello se realizaron aplicaciones de diferentes fungicidas, tanto por el sistema de riego como por vía foliar. Los fungicidas utilizados fueron; Lucaptan (captan 50%) a una dosis de 2 kg ha⁻¹ a través sistema de riego por goteo. Durante el desarrollo del cultivo se aplicaron en el follaje fungicidas preventivos como Econil 720 (clorotalonil 52 %), Lucazeb 400 (mancozeb 33). También se utilizaron fungicidas sistémicos como Ridomil Gold Bravo (metalaxil-M 3.3 % +clorotalonil 33 %) y Cabrio C (boscalid 25.2% + pyraclostrobin 12.8 %).



Figura 15. Manifestación del mildiu en cebolla
Fuente: Elaboración propia.

6.9. Manejo de malezas

Previo al trasplante se aplicó el herbicida sistémico Faena (glifosato 35.6 %) para eliminar las malezas que ya habían emergido. También se aplicó el herbicida preemergente Prow H₂O (pendimetalyn). Tres semanas después del trasplante se aplicó el herbicida Goal Tender (oxifluorfen 41 %) para eliminar las malezas de hoja ancha. Para eliminar la maleza de hoja angosta, se aplicó el herbicida Fusilade Biw (fenoxilpropanoato 12.5 %). La aplicación de herbicidas fue complementada con la eliminación manual.

6.10. Manejo de plagas

La principal plaga que se presentó en el cultivo fue el trips (*Trips tabaci*), seguido del gusano minador de la hoja (*Liriomyza* spp.). Las poblaciones de los insectos anteriormente mencionados fueron controladas con los siguientes insecticidas químicos: Dimetoato (dimetotato 38 %) y Jinsu (Lambda Cyalotrina 5.39 %).

6. 11. Medición de planta

El diámetro ecuatorial se obtuvo midiendo el bulbo con un vernier graduado en milímetros colocándolo en el centro del bulbo como se muestra en la **Figura 16** y se le dio seguimiento semanalmente a los diferentes tratamientos.



Figura 16. Medición de diámetro ecuatorial de cebolla
Fuente: Elaboración propia

Se evaluó el verdor en planta mediante el contenido de clorofila de las hojas usando un SPAD 502 (Spectrum Technologies, Inc.) como se indica en la **Figura 17**; altura de planta (cm), desde la base del tallo hasta la parte más alta; biomasa húmeda (g); y peso de biomasa seca (g) de plantas deshidratadas en estufa a 80 °C por 24 h. Además se evaluaron diámetro de tallo (mm), rendimiento (g planta⁻¹) en una balanza digital (**Figura 18**) y se midió el contenido de sólidos solubles (en °Brix) mediante un refractómetro (**Figura 19**).



Figura 17. Spad para medir el verdor de las hojas de cebolla
Fuente: Elaboración propia



Figura 18. Balanza digital utilizada para pesar bulbo de cebolla
Fuente: Elaboración propia



Figura 19. Refractómetro utilizado para medir sólidos solubles
Fuente: Elaboración propia



Figura 20. Medición de plantas de cebolla
Fuente: Elaboración propia

6.12. Análisis bromatológicos

El contenido de proteína se determinó por el método de kjendhal utilizando un digestor y destilador Büchi (Caruso *et al.*, 2014).

Que consistió en los siguientes pasos:

Preparación de la muestra

1. Se pesó en balanza analítica exactamente 0.5g de muestra previamente secado y triturado, sobre un papel libre de nitrógeno, y se anotó el peso exacto
2. Se envolvió la muestra en el papel para evitar pérdida de muestra
3. Se colocó la muestra dentro de un tubo para digestión Büchi con 3 repeticiones y 3 blancos (tubo para digestión con papel libre de N)

Digestión

1. Se calentó el digestor Büchi al nivel 10 de temperatura por 10 minutos (220V).
2. A cada tubo se agregó una pastilla catalizadora de cobre y 12 ml de ácido sulfúrico concentrado empleando un dispensador.
3. Se colocó el tubo captador de gases, así como los sujetadores de seguridad.
4. Se introdujeron los tubos en el digestor, y se encendió el lavador de gases (Scrubber).
5. La digestión tardó alrededor de una hora y en ese tiempo estuvo observando que las muestras se mantuvieran claras, porque de observar alguna que estuviera turbia, se tendría que dejar por 15 minutos más en digestión.
6. Después de la digestión se procedió a disminuir el calentamiento a cero y se dejaron enfriar las muestras sin apagar el lavador de gases, por 30 minutos.

Destilación

1. Se abrió el agua de enfriamiento y se encendió el destilador Büchi, apareció un mensaje de espera, al término de este, se presionó la tecla Pre Heating
2. Se programó el equipo como se muestra en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Programación del destilador

Acción	Cantidad
Aplicación de H ₂ O	50 ml
Aplicación de NaOH	60 ml
Delay	5 segundos
Destilación	5 minutos

Fuente: Elaboración propia

3. En un matraz erlenmeyer de 250 ml se adicionaron 30 ml de ácido bórico al 4 % y 5 gotas de indicador verde de bromocresol - rojo de metilo, para recibir el destilado.
4. Cada uno de los tubos de digestión se colocó en el destilador y pulsó la tecla star.
5. Se verificó que la muestra estuviera totalmente alcalinizada, la cual adquirió un color negro, como se muestra en la **Figura 21**.
6. Después de cinco minutos de destilación se retiró el matraz y se tituló con ácido clorhídrico 0.1 N hasta que cambio de verde a rosa, como se indica en la **Figura 22**.

Cálculos

$$\% N = \frac{(14.01)(\text{ml muestra} - \text{ml blanco})(\text{NHCl})}{(\text{Peso de la muestra})(10)}$$

Donde:

14.01 = Miliequivalente del nitrógeno

NHCl = Normalidad del ácido clorhídrico

ml muestra = ml de HCl 0.1N gastados en el destilado de cada muestra

ml blanco = ml de HCl 0.1N gastados con el destilado de los blancos



Figura 21. Digestor Büchi
Fuente: Elaboración propia



Figura 22. Destilador
Fuente: Elaboración propia

Para el contenido de fibra total se utilizó el método de bolsas ankom aplicando una solución de fibra neutro detergente (FND).

1. Se utilizó un marcador resistente a solventes y rotulando las bolsas filtro.
2. Se pesaron 0.45-0.55 g de la muestra preparada (w_2) directamente en la bolsa filtro.
3. El borde superior de las bolsas se selló completamente dentro de los 4 mm del tope con la selladora y se encapsuló la muestra.

4. Se pesó un blanco (C) que se incluyó en la corrida para determinar la corrección del mismo.
5. Se colocaron las muestras dentro del contenedor con un tope y se colocó suficiente acetona dentro del contenedor hasta cubrir las bolsas, se aseguró el tope. Se agitó el contenedor 10 veces, retirando la acetona. Se agregó nueva acetona y dejando remojar por 12 h. Después del tiempo de remojo, se retiró la acetona, colocando las bolsas en una superficie y posteriormente fueron secadas con aire.
6. Se colocaron tres bolsas por bandeja, sobreponiendo las bandejas fijas en el centro con cada nivel, rotándolas a 120 °C. Posteriormente se insertó el serpentín con las bolsas (**Figura 23**), colocándolas el dentro del analizador de fibras ankom 2000 y la pesa para permitir que esté sumergido, como se muestra en la **Figura 24**.
7. Se encendieron los botones de “agitado” y “calor” y se confirmó la agitación, fijando el tiempo por 60 minutos, cerrando la tapa.
8. Al finalizar la extracción se apagó “agitado” y el “calor”. Se abrió la válvula de drenado (lentamente al principio), expulsando la solución caliente antes de abrir la tapa.
9. Cuando el proceso de enjuague se completó se removieron las muestras. Cuidadosamente y exprimiendo el exceso de agua de las bolsas. Se colocaron las bolsas en un vaso de precipitado de 250 ml, agregando suficiente acetona para cubrir las bolsas. Después se dejó remojando de 3-5 minutos, retirando la acetona y colocando las bolsas en una superficie para secarlas con aire.
10. Se pusieron a secar las muestras en una estufa a 102 °C.
11. Se removieron las bolsas de la estufa, dejándose enfriar a temperatura ambiente y posteriormente se pesaron.

Cálculos:

$$\%FND = \frac{100(W_3 - (W_1 \times C))}{W_2}$$

DONDE:

W_1 = Peso de la bolsa

W_2 = Peso de la muestra

W_3 = Peso de la bolsa seca con la fibra después del proceso
de extracción

C = Blanco de corrección (peso seco final) dividido por el peso del blanco inicial.



Figura 23. Serpén del analizador de bolsas ankom
Fuente: Elaboración propia



Figura 24. Analizador de fibras ankom 2000
Fuente: Elaboración propia

Se determinó grasa en un soxtec tecator 2055 mediante el procedimiento de Tejada (1985) como se muestra en la **Figura 25**, que consistió en:

A – Preparación del equipo

1. Se suministró agua al sistema de refrigeración antes de comenzar el análisis y se reguló el flujo de agua a dos litros por minuto.
2. Pre calentamiento: se conectó el equipo a 220V y presionó la tecla “power” que se localizaba en la parte posterior de la unidad de control. Posteriormente se oprimió la tecla de calentamiento

B - Extracción

1. Se colocaron los dedales con la muestra, para ello las palancas tanto derecha como izquierda permanecieron en la parte superior del equipo de extracción.

Posición de palancas SOXTEC TECATOR 2055		
----->		<-----

- 2 Con ayuda de un porta dedal se centraron los dedales.
3. Se colocaron los crisoles en el equipo de extracción.
4. Ambas palancas se colocaron en la parte de en medio.

Posición de palancas SOXTEC TECATOR 2055		
----->		<-----

5. El solvente (90 ml) fue colocado por la parte superior del equipo.
6. Ambas palancas fueron colocadas hasta la primera posición (parte inferior) y se oprimió el botón de encendido

Posición de palancas SOXTEC TECATOR 2055		
-----→		←-----

7. Cuando del tiempo de ebullición llegó a cero la unidad de control se activó la señal del zumbador. Por lo cual se realizó el desplazamiento de los dedales a la posición de enjuague (posición central de palanca Izquierda).

Posición de palancas SOXTEC TECATOR 2055		
-----→		
		←-----

Pulsé la tecla de tiempo e inicio la cuenta a cero del tiempo de enjuague

C – Recuperación del diluyente, retirado de los crisoles de extracción y dedales

1. Cuando la cuenta del tiempo de ebullición llegó a cero, la unidad de control activó la señal del zumbador. Se desplazaron los dedales a la posición de recuperación y se pulsó la tecla timer (la palanca izquierda estaba en la parte superior).

Posición de palancas SOXTEC TECATOR 2055		
-----→		
		←-----

2. La bomba de aire se encendió automáticamente cuando faltaban tres minutos para el análisis. Se recogieron las últimas trazas de diluyente en el condensador y fueron transferidas al recipiente colector.
3. Se levantaron los colectores a la posición de carga (palanca derecha en la posición superior).

Posición de palancas SOXTEC TECATOR 2055		
----->		<-----

Las cubetas fueron retiradas con el manipulador. Posteriormente se introdujeron los crisoles a la estufa para secarlos. Una vez secos, los crisoles fueron colocados dentro de un desecador por 30 minutos, posteriormente lo crisoles fueron pesados, registrándose los datos obtenidos.

4. Los dedos utilizados en el soporte fueron retirados.

D – Desconexión

1. Se apagó el interruptor “MAIN”
2. Se cerró el grifo de agua
3. Se vació el recipiente recolector de disolvente



Figura 25. SOXTEC TECATOR 2055 donde se determinó grasa
Fuente: Elaboración propia

Las cenizas se produjeron en una mufla (**Figura 26**), colocando la muestra en charolas de aluminio sometiéndola a una temperatura de 500 °C durante tres horas y determinando el peso final de las cenizas.



Figura 26. Mufla para la obtención de cenizas
Fuente: Elaboración propia

La estimación del carbón fijado se realizó a partir de la composición química proximal de cada estructura. Esta composición química fue determinada mediante análisis bromatológicos (AOAC, 2006), que incluyeron contenidos de humedad, fibra y cenizas del material vegetativo colectado en el campo.

Equivalentes de CO₂ fijados

Para determinar el porcentaje correspondiente a carbono en cada compuesto, se utilizaron las siguientes expresiones:

$$\%C = \text{PMC}/\text{PMDC} * 100 \quad (1)$$

$$\text{CT} = ((\%C) * (\text{gCM})/100) * (2)$$

$$\text{EqCO}_2 = (\text{CT} * 44)/12 \quad (3)$$

Dónde:

% C = porcentaje de carbono correspondiente a cada compuesto, (24 proteína y 72 para fibra)

PMC = peso molecular del carbono contenido en cada compuesto determinado a partir de la fórmula mínima,

PMDC = Peso molecular de la fórmula mínima de cada compuesto (proteína 75 g/mol, fibra 162 g/mol), CT = carbono total,

gCM = gramos del compuesto (proteína, fibra) en la muestra,

PS = peso seco de la muestra,

EqCO₂ = equivalentes de CO₂.

La determinación del carbono fijado se presenta en toneladas de equivalentes de CO₂ por hectárea (tCO₂ eq/ha) (Pérez *et al.* 2007).

6.13. Cosecha

Cuando aproximadamente el 70 % de las plantas de cada tratamiento presentaron el doblés característico de que la cebolla ha llegado a la madurez fisiológica, por ello se procedió a doblar manualmente al resto de las plantas. Dos días después las plantas fueron arrancadas y colocadas en terreno para que se completara el sellado del cuello del bulbo.

6.14. Diseño experimental

Se realizó un diseño experimental de bloques completos al azar, evaluando cuatro fechas de siembra, con cuatro repeticiones. Cada tratamiento constó de una cama de 100 m de largo, en cada una cama se colocaron 6 hileras de cebolla, separadas entre ellas a 12 cm, dispuestas en zigzag como se muestra en la **Figura 27**. La parcela útil constó de un metro del largo de la cama. De cada parcela útil se contabilizaron y midieron todas las plantas como se muestra en la **Figura 28**.



Figura 27. Distribución de las plantas de cebolla en zigzag
Fuente: Elaboración propia



Figura 28. Unidad de muestreo

Fuente: Elaboración propia

Para cada bloque se seleccionó un número aleatorio mediante el comando =(aleatorio()) para cinco renglones. Posteriormente, en la columna siguiente se ordenó de manera jerárquica cada uno de los números aleatorio mediante la siguiente fórmula =JERARQUIA(B3,B\$3:B\$7,0).

Para la selección de la unidad de muestreo de cada tratamiento se empleó la siguiente fórmula =REDONDEAR(ALEATORIO()*(20-1)+1,0). De esta manera la hoja de cálculo proporcionó un número del 1 al 20 para cada tratamiento.

Cuadro 6. Distribución de la unidad experimental para cada uno de los tratamientos y bloques

	Bloque I					Bloque II					Bloque III					Bloque IV				
Tratamiento	3	2	4	1	5	2	5	3	1	4	3	5	2	4	1	4	2	1	3	5
Distancia (m) para la toma de datos	5	16	4	12	11	18	11	7	11	6	7	19	5	10	16	19	10	12	6	14

Fuente: Elaboración propia

La distribución de las unidades de muestreo dentro de cada bloque y tratamiento se muestra en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Distribución de las unidades de muestreo

Tratamiento Distancia (m)	Bloque 1					Bloque II					Bloque III					Bloque IV				
	3	2	4	1	5	2	5	3	1	4	3	5	2	4	1	4	2	1	3	5
1																				
2																				
3																				
4			x																	
5	x												x							
6									x										x	
7								x		x										
8																				
9																				
10													x			x				
11				x		x		x												
12			x														x			
13																				
14																				x
15																				
16		x													x					
17																				
18					x															
19													x			x				
20																				

Fuente: Elaboración propia

6.15. Análisis estadístico

Para la realización del análisis estadístico se utilizó el paquete estadístico XLSTAT (2018)

6.15.1. Peso de la cebolla

Los análisis de estadística paramétrica parten del supuesto de que la variable evaluada tiene una distribución normal. Aunque puede ser que muchos de los datos obtenidos en campo no tienen este tipo de distribución. Asimismo muchos métodos, entre ellos el análisis de varianza, asumen que todos los grupos de comparación tienen la misma varianza y que todos los efectos del tratamiento son aditivos (Krebs, 1999).

Para resolver el problema de la no normalidad, la heterogeneidad de las varianzas y la no aditividad Krebs (1999) plantea las siguientes alternativas. La primera es el uso de métodos no paramétricos para el análisis de los datos; la segunda alternativa es la transformación de la escala de medición. De acuerdo con el autor, la ventaja de esta solución es que puede hacer uso de métodos estadísticos paramétricos; la tercera alternativa es ignorar que el problema existe y argumentar que el análisis de varianza es más robusto que las violaciones a los supuestos establecidos.

Para conocer si los datos obtenidos en campo siguieron una distribución normal, se aplicaron diferentes pruebas, como se muestra en el Cuadro 8. Observándose que dichos datos no siguen una distribución normal.

Cuadro 8. Pruebas de normalidad aplicadas

Prueba	valor-p
Shapiro-Wilk (Var1):	< 0.0001
Anderson-Darling (Var1):	< 0.0001
Lilliefors (Var1):	< 0.0001
Jarque-Bera (Var1):	< 0.0001

Fuente: Elaboración propia

Interpretación de la Prueba:

H0: La variable de la cual se extrajo la muestra sigue una distribución Normal.

Ha: La variable de la cual se extrajo la muestra no sigue una distribución Normal.

Puesto que el valor-p computado es menor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se debe rechazar la hipótesis nula H0, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.

A partir de lo anterior se procedió a la transformación de los datos tomando en cuenta tres reglas que aplican para todas las transformaciones:

a) Nunca convertir varianzas, desviación estándar o error estándar de vuelta a la escala original, porque no tienen significado estadístico en la escala de medición original.

b) Convertir medias y límites de confianza de vuelta a la escala original por la transformación inversa. Por ejemplo si fue una transformación logarítmica utilizar el antilogaritmo.

c) Nunca comparar las medias calculadas para datos no transformados con medias calculadas a partir de datos transformados, reconvertido a la escala original de medición. No son medios comparables. Todas las comparaciones estadísticas entre los diferentes grupos se deben haber usado una transformación común para todos los grupos.

Ante esta situación se procedió a realizar una transformación estándar a partir de la raíz cuadrada de los datos originales.

Transformación de la raíz cuadrada. Esta transformación es utilizada cuando la varianza es proporcional a la media.

$$\hat{x} = \sqrt{x}$$

Donde

\hat{x} = valor transformado
x=valor original

Por otra parte, para convertir las medias a los valores originales se realizó la transformación inversa mediante la siguiente fórmula:

$$x = \hat{x}^2$$

Con los datos obtenidos de la transformación se procedió a realizar distintas pruebas de normalidad resultando los valores de p que se muestran en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Pruebas de normalidad aplicadas a los datos transformados

Prueba	valor-p
Shapiro-Wilk (Var1):	0.062
Anderson-Darling (Var1):	0.149
Lilliefors (Var1):	0.218
Jarque-Bera (Var1):	0.236

Fuente: Elaboración propia

H0: La variable de la cual se extrajo la muestra sigue una distribución Normal.

Ha: La variable de la cual se extrajo la muestra no sigue una distribución Normal.

Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, no se puede rechazar la hipótesis nula H0, es decir los datos transformados sí tienen una distribución normal.

6.15.2. Prueba de homocedasticidad

Por otra parte se realizó la prueba de homocedasticidad para analizar si las poblaciones estudiadas tenían la misma varianza. Para ello se aplicó la prueba de mediante la prueba de Bartlett (Zar, 1984). Obteniendo la diferencia de cada valor obtenido con respecto a la mediana de cada población, a lo cual se le aplicó un análisis de varianza (Cuadro 10), resultando que no había diferencia significativa entre las varianzas de las muestras.

Cuadro 10. Análisis de varianza sobre la homocedasticidad de los datos

FV	SC	GL	MC	F	Ft
TOTAL	267.8	299			
EG	4.54	3	1.51	1.70	2.64
IG	263.2072	296	0.89		
p<0,05					

Dado que $F < Ft$, no existe diferencia significativa entre las varianzas

Fuente: **Elaboración propia**

A partir las pruebas anteriores se procedió a realizar el análisis de varianza entre los tratamientos y a realizar la comparación de medias en los casos en que hubo diferencia estadística significativa. Para ello se aplicó la prueba de Tukey.

6.15.3. Relación peso y diámetro de la cebolla

Por otra parte, con los datos de peso y diámetro de la cebolla se realizó un análisis de correlación observando que existe una relación entre dichas variables.

El análisis de regresión lineal se dio a partir de una ecuación de la relación entre una variable independiente y otra dependiente. Esta ecuación tiene la siguiente forma.

$$Y = a + bX$$

Donde:

Y= valor de la variable dependiente sobre el eje vertical

a= intercepción de la línea de regresión con el eje **Y**. Por eso **a** es el valor de **Y** cuando **X** = 0.

b= Inclinación en la línea de regresión o pendiente de la recta.

X= valor de la variable independiente sobre el eje horizontal.

Para obtener los valores de **b** y **a** respectivamente, se aplicaron las siguientes fórmulas:

$$b = - \frac{(\Sigma XY) - \frac{(\Sigma X)(\Sigma Y)}{n}}{(\Sigma X^2) - \frac{(\Sigma X)^2}{n}}$$

$$a = Y - b \bar{X}$$

El coeficiente de correlación se determinó mediante la siguiente fórmula

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

6.15.4. Contenido de grados Brix

En el caso del Estudio de los grados Brix, se realizó también se realizó el análisis de normalidad de los datos, encontrándose que estos no seguían una distribución normal, por lo que se procedió a realizar la transformación de datos. Después de ese paso se volvió a realizar el análisis de normalidad, sin que estos se ajustaran a esta distribución. Por esa razón, los análisis de los datos se realizaron una prueba estadística no paramétrica mediante la comparación de muestras Kruskal-Wallis, Friedman. Para ello se utilizó el paquete estadístico XLSTAT 2018.6.54021 (2018).

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.2. Peso de la cebolla

Al aplicarse el análisis de varianza con respecto al peso de la cebolla se observó que sí había diferencia estadística significativa entre los valores obtenidos por los distintos tratamientos de acuerdo con las fechas de siembra, como se muestra en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Análisis de varianza de los datos sobre el peso de cebolla

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	4	2050.418	512.605	36.315	< 0.0001
Error	349	4926.325	14.116		
Total corregido	353	6976.743			

Calculado contra el modelo $Y = \text{Media}(Y)$
Fuente: Elaboración propia

A partir de lo anterior se procedió a realizar la comparación de medias, encontrando que las cebollas que se trasplantaron más tarde tuvieron menor desarrollo, pues solo alcanzaron un peso promedio de 153.19 g, mientras que las que se sembraron más temprano pesaron 348.62 g en promedio, como se observa en el Cuadro 12.

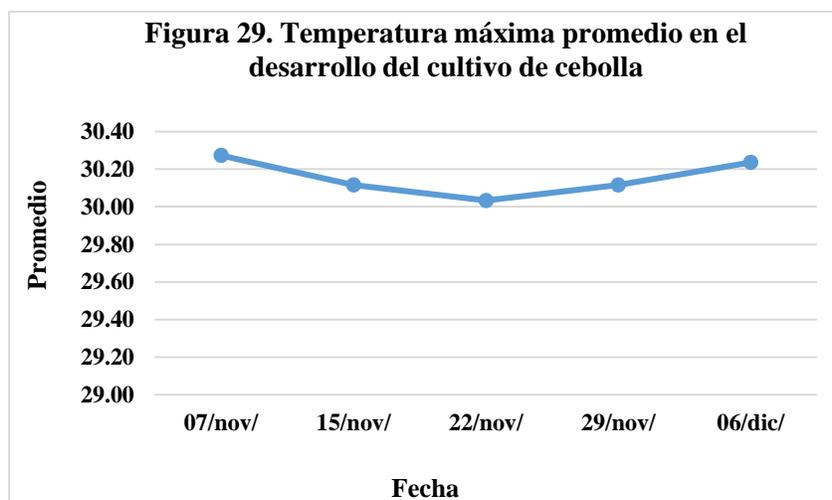
Cuadro 12. Grupos formados de las comparaciones por pares para Tratamiento (Tukey (HSD))

Categoría	Peso promedio	Grupos
07-nov	348.62	A
15-nov	292.87	B
22-nov	338.59	A B
29-nov	193.87	C
06-dic	153.19	C

Fuente: Elaboración propia

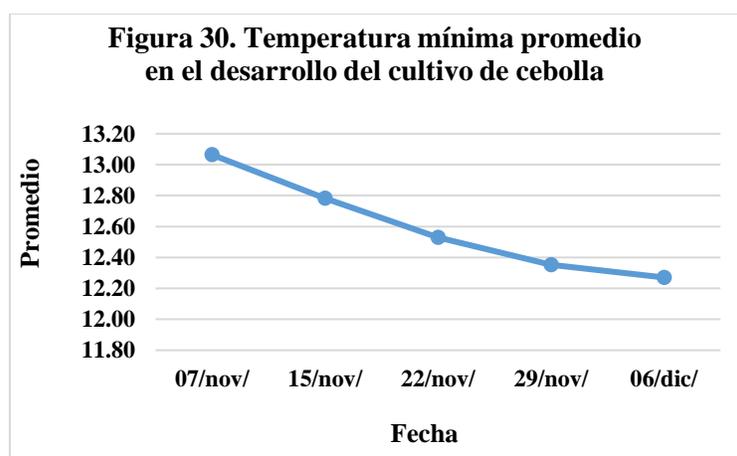
De acuerdo con (McClung y Seth, 2010) la temperatura es un factor determinante en el desarrollo de las plantas, lo cual incluye rangos en donde la planta no se encuentra estresada. Partiendo de ese criterio, en esta investigación se relaciona el peso de la cebolla con diferentes parámetros de la temperatura, encontrando que hay algunos que sí influyen en los resultados obtenidos.

El comportamiento de la temperatura durante el desarrollo del experimento se muestra en la **Figura 29**. En el tercer tratamiento se presentaron las temperaturas promedio máximas más bajas con 30.03 °C, mientras que la más baja ocurrió en la tercera fecha.



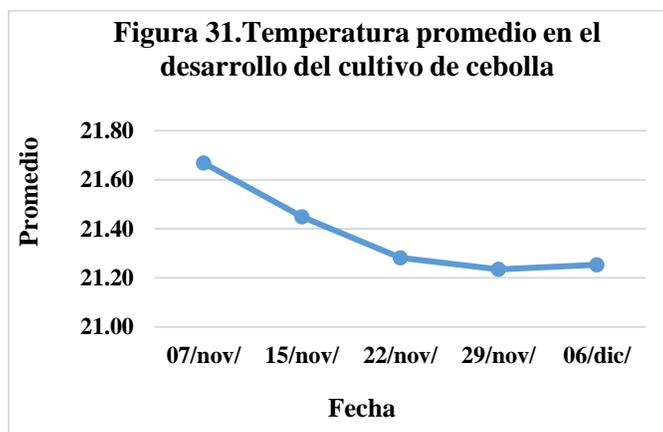
Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA (2015)

Por otra parte en la **Figura 30**, se muestra que las temperaturas mínimas descendieron de acuerdo con la fecha de los tratamientos, encontrando que para el tratamiento 1, la temperatura mínima promedio fue de 13.06 °C, mientras que para el tratamiento quinto mes fue 12.27 °C.



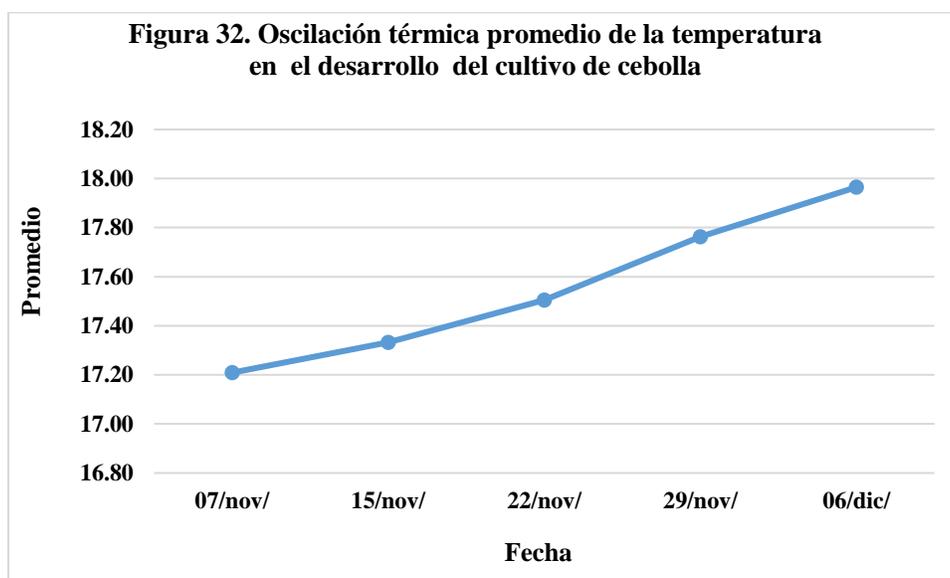
Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA (2015)

En la **Figura 31** se indica que los tres últimos tratamientos tuvieron una temperatura promedio muy similar siendo más baja que los dos primeros.



Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA (2015)

Con respecto a la **Figura 32**, los datos muestran que la oscilación térmica para cada tratamiento fue diferente, encontrando que primero tuvo los valores más bajos, presentándose una tendencia a incrementar la oscilación térmica para cada tratamiento, de acuerdo con la fecha de trasplante.



Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA (2015)

Tratando de explicar el comportamiento del rendimiento de la cebolla de acuerdo con la fecha de siembra, se analizaron los datos de los parámetros de temperatura: Temperatura máxima promedio, Temperatura mínima Promedio, Promedio de temperatura y Oscilación térmica.

Al hacer el análisis de regresión lineal, se encontró que con los cuatro parámetros se tiene significancia estadística. Sin embargo, los valores del coeficiente de determinación son más altos en los parámetros de oscilación térmica y la variación de las temperaturas mínimas promedio, como se indica en los Cuadros 13, 14, 15 y 16.

Cuadro 13. Análisis de varianza (Peso de cebolla): Oscilación térmica

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	1	343,079.65	343,079.65	62.54	0.004
Error	3	16,457.86	5,485.95		
Total corregido	4	359537.506			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 14. Análisis de varianza (Peso de cebolla): Temperatura máxima

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	1	267,338.692	267,338.692	26.829	0.014
Error	3	29,893.153	9,964.384		
Total corregido	4	297,231.846			

Calculado contra el modelo Y=0

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 15. Análisis de varianza (Peso de cebolla): Temperatura mínima

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	1	270,852.905	270,852.905	30.803	0.012
Error	3	26,378.941	8,792.980		
Total corregido	4	297,231.846			

Dado el valor R², la variable explicativa explica el 66% de la variabilidad de la variable dependiente Peso de cebolla.

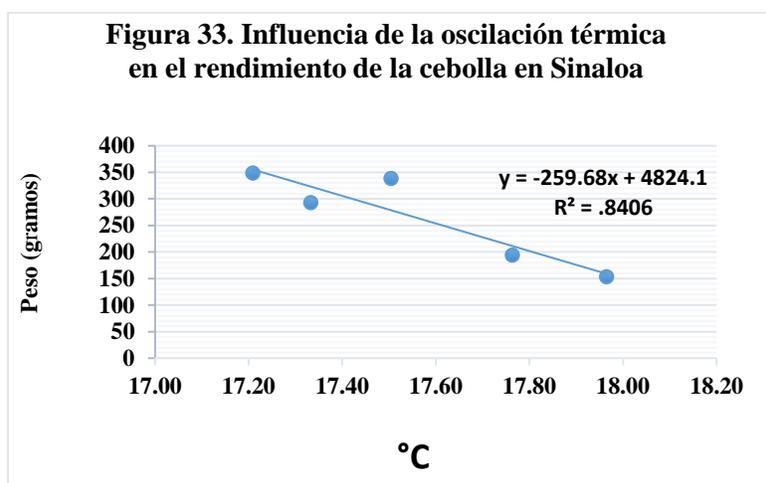
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 16. Análisis de varianza de la regresión entre peso y diámetro de la cebolla

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	5,927,699.69	5,927,699.69	2,376.96	9.169E-144
Residuos	297	740,661.99	2,493.81		
Total	298	6,668,361.68			

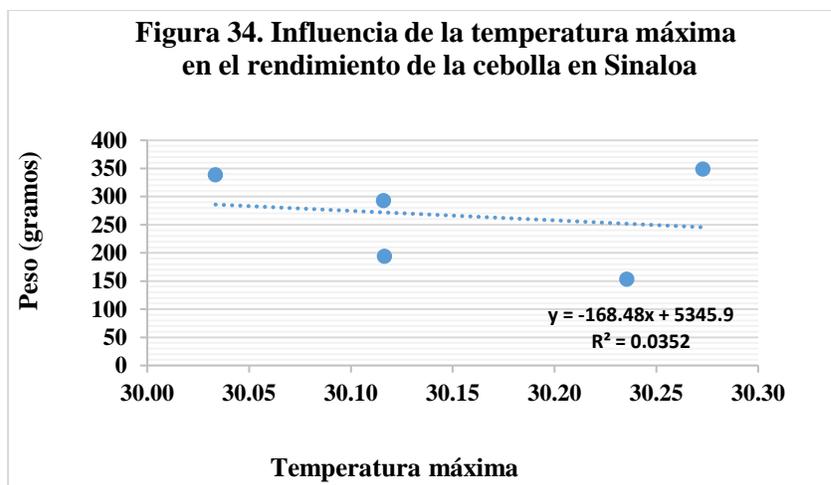
Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la oscilación térmica el coeficiente de determinación fue de 0.84, es decir, que esta variable dependiente explica el 84 % del comportamiento del peso del bulbo. Al respecto Steer (1980) encontró que el desarrollo del bulbo era más lento cuando la diferencia entre la temperatura nocturna era de 15 °C que cuando la oscilación era de 5 °C. Una de las razones de ello puede ser que la cebolla es muy sensible a la variación diaria de la temperatura, pues durante las primeras horas de la mañana la planta se encuentra erguida, mientras que al medio día, durante las temperaturas máximas, la planta dobla sus hojas, lo que puede implicar pérdida de energía, luego entonces, entre más alta sea la oscilación térmica, mayor será el movimiento que tengan las hojas. (**Figura 33**).



Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA (2018)

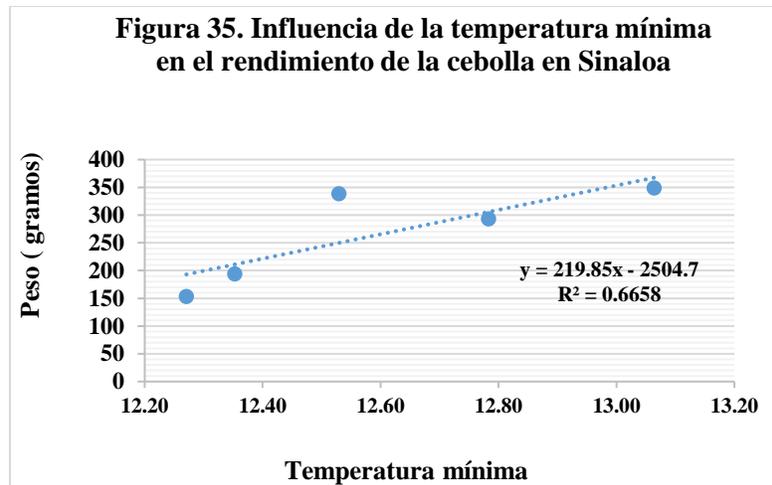
Las plantas que se desarrollaron bajo temperaturas máximas más altas tuvieron un menor desarrollo, debido a que las altas temperaturas acortaron el ciclo de vida, al respecto Lescay y Moya (2006) encontraron que el rendimiento de la cebolla disminuye al aumentar la temperatura, como se indica en la **Figura 34**.



Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA (2018)

Por otra parte, algunas especies de plantas ajustan el ángulo de la hoja con relación a los rayos solares al medio día cuando se tiene el mayor calentamiento (Jones y Rotenberg, 2001). La planta realiza esta acción para protegerse contra el estrés hídrico. Sin embargo, al reducir la intercepción de la luz, afecta la capacidad de mantener altas tasas de asimilación de CO₂ durante este periodo en plantas bien regadas (Pastenes, *et al.*, 2004). Esto afecta entonces la actividad fotosintética y con ello el desarrollo de la planta de cebolla.

El otro parámetro de la temperatura con un coeficiente de determinación alto fue la variación de la temperatura mínima. Se observa que conforme aumentan los valores de temperatura mínima, se tiene también un incremento de los rendimientos como se puede ver en la **Figura 35**. Esto puede estar relacionado con el hecho de que las cebollas trasplantadas más temprano tuvieron un mejor desarrollo durante el periodo antes de la bulbificación, pues estaban más alejadas de la temperatura mínima para el desarrollo de las hojas que es de 6 °C según Kalbarczyk y Kakbarczyc (2015), y de 7 °C según Ruiz, *et al.* (2013) es decir, las plantas tenían un condiciones más favorables para el desarrollo de la hoja. En este aspecto Lancaser *et al.* (1996) señala que en el estudio que ellos realizaron, el crecimiento del bulbo estuvo relacionado con el tiempo térmico acumulado antes de la bulbificación. Por el contrario en las cebollas que se trasplantaron en fechas más tardías esta etapa del desarrollo ocurrió cuando las temperaturas estaban más cercanas al punto crítico de desarrollo



Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA (2018)

Las cebollas trasplantadas durante las primeras fechas tuvieron un desarrollo prebulbificación adecuado, acumulando nutrientes en sus hojas. Esto permite que las cebollas estén en condiciones favorables cuando ellas captan la disminución de la temperatura, que indica que la planta debe entrar en un periodo de dormancia para soportar el frío. Ante esta situación la planta inicia el proceso de bulbificación. Al respecto Thomashow (1999) indica que la aclimatación al frío implica muchos cambios bioquímicos y fisiológicos incluidos la modificación de la composición de la membrana, aumento en el contenido de proteínas solubles, el incremento de los niveles de proteínas y azúcares que le permiten a la planta resistir la congelación. Por el contrario, las plantas que se sembraron más tarde, reciben dicha señal cuando aún no han acumulado nutrientes suficientes en sus hojas, por lo que el proceso de bulbificación es deficiente.

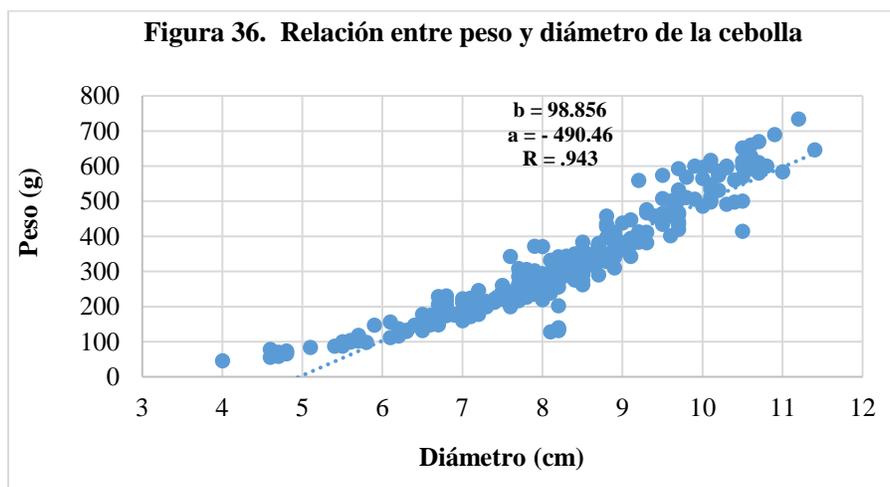
La formación adecuada de hojas antes y durante la bulbificación es muy importante, dado que la translocación de nutrientes de la hoja verde al bulbo es determinante en el peso de la cebolla (López, *et al.*, 2017). Aunado a ello en la última etapa de la formación del bulbo, la planta se encuentra bajo condiciones de altas temperaturas, lo cual acelera el proceso de maduración pues, la acumulación de calor se realiza en menos tiempo que las cebollas trasplantadas más temprano. Al respecto, Ikeda *et al.* (2019) señalan que en el estudio que ellos realizaron, el crecimiento del bulbo se detuvo a temperaturas relativamente altas.

En el crecimiento del bulbo también influye el fotoperiodo y podría considerarse que tiene un efecto que se combina con la temperatura (Chope *et al.*, 2012). En este caso es complicado estimar cuál es el factor determinante, pues el lugar donde se desarrolló este experimento, la temperatura es altamente dependiente de la duración del día. Al respecto Brewster (2008) considera que la influencia de estos dos factores dependerá de las variedades de cebolla que se encuentren en el mercado.

Las diferencias de peso encontradas entre los tratamientos, también puede aplicar para el diámetro de la cebolla, pues al realizar el análisis de correlación entre el peso y el diámetro de la cebolla se observó que sí había significancia estadística en la relación, como se puede observar en el apartado siguiente.

7.2. Relación diámetro y peso de la cebolla

Al realizar el análisis de varianza de correlación entre peso y diámetro de la cebolla, se observó que sí había significancia estadística en la regresión con un valor crítico de F de 9.169E-144. Asimismo se encontró que la correlación entre el peso y el diámetro de la cebolla fue de 0.943, es decir que el 94 % del comportamiento de una variable depende de la otra. Además, el valor de la pendiente (b) indica que por cada centímetro que del diámetro de la cebolla, esta aumenta 98.6 g en peso como se observa en la **Figura 36**.



: Fuente: Elaboración propia

7.3 Grados Brix en el bulbo de la cebolla

La prueba estadística no paramétrica de Kruskal-Wallis aplicada para analizar la diferencia entre los tratamientos con respecto al contenido de °Brix, indica que se tuvo una diferencia estadística significativa, como se muestra en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Prueba de Kruskal-Wallis / entre los tratamientos

Estadísticos	Valores
K (Valor observado)	142.876
K (Valor crítico)	9.488
GL	4
valor-p (unilateral)	< 0.0001
alfa	0.05

Fuente: Elaboración propia

A partir de lo anterior se realizó una comparación de rangos mediante el procedimiento de Dunn, encontrando que la menor concentración de °Brix se obtuvo en el tratamiento cinco, el cual se compone de las cebollas que se trasplantaron más tarde. Por el contrario, la que tuvo mayor concentración de °Brix fue sembrada en fechas intermedias.

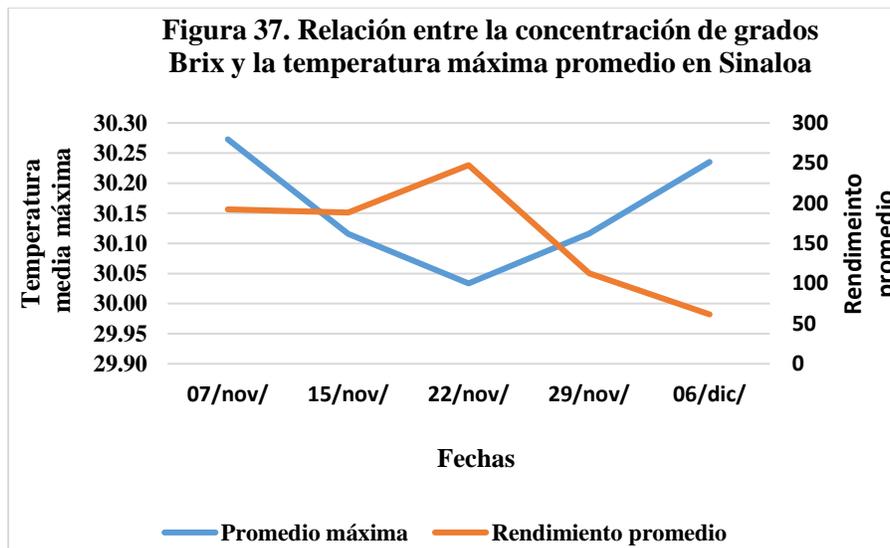
Las plantas con menor concentración de °Brix, son las que se trasplantaron en las últimas fechas, razón por la cual en la última etapa de su desarrollo ocurrieron las temperaturas más altas. Por el contrario el tratamiento de fecha intermedia se desarrolló bajo condiciones de temperaturas más bajas (Cuadro 18). Asimismo tuvo los valores más altos de °Brix, esto puede deberse a que la cebolla como otras especies de plantas reacciona a las bajas temperaturas, concentrando azúcares como un mecanismo de defensa para aclimatarse a temperaturas que pueden llegar al punto de congelación (Thomashow, 1999).

Cuadro 18. Comparaciones múltiples por pares mediante el procedimiento de Dunn / Prueba bilateral:

Muestra	Frecuencia	Suma de rangos	Media de rangos	Grupos
07-nov	75	14,441.00	192.55	C
15-nov	78	14,683.50	188.25	C
22-nov	58	14,353.00	247.47	D
29-nov	59	6,642.50	112.59	B
06-dic	57	3,508.00	61.54	A

Fuente: Elaboración propia

Relacionando la temperatura máxima con los grados °Brix, se observó que la máxima acumulación, ocurrió en el tratamiento tres con 247.466 °Brix, lo cual estuvo asociado con las temperaturas máximas más bajas con 30.03 °C. Lo contrario sucedió cuando se tuvieron las temperaturas máximas más altas con 30.24 °C, donde el rendimiento fue solo de 61.54 °Brix como se observa en la **Figura 37**.



Fuente: Elaboración propia

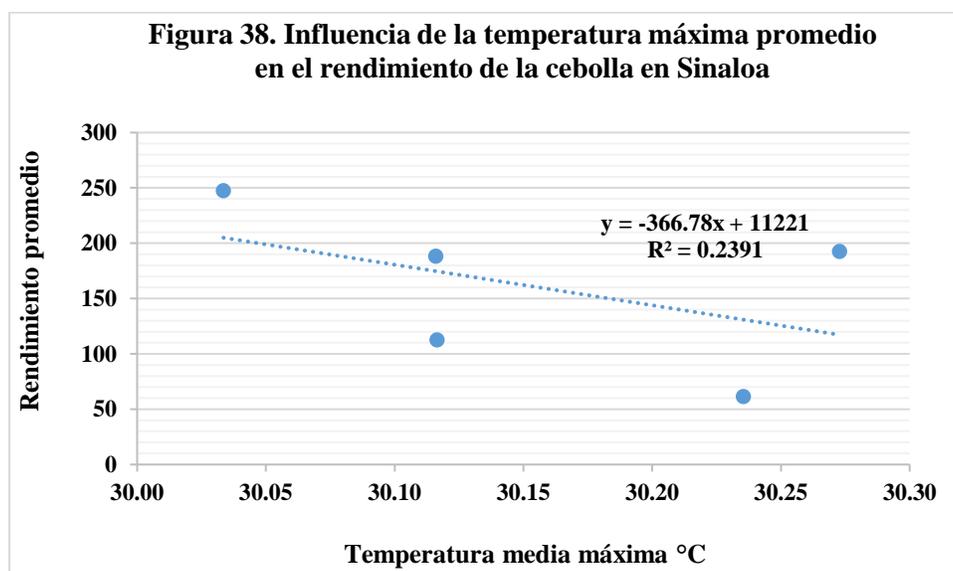
Partiendo de lo anterior, se realizó un análisis de regresión lineal simple, teniendo como variable independiente a la temperatura mínima promedio, encontrando que el análisis de varianza indicó que sí había diferencia estadística entre los tratamientos como se muestra en el Cuadro 19.

Cuadro 19. Análisis de varianza de la regresión lineal entre la temperatura promedio máxima y la concentración de grados Brix

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	1	137,163.43	137,163.43	44.419	0.007
Error	3	9,263.78	3,087.93		
Total corregido	4	146,427.21			

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 38**, se indica que conforme aumenta la temperatura máxima, disminuye la concentración de °Brix, encontrando que la variable independiente, determina el comportamiento del rendimiento en un 24 % y que por cada 0.1 °C que aumenta la temperatura máxima, la concentración disminuye 36 ° Brix.



Fuente: Elaboración propia

:

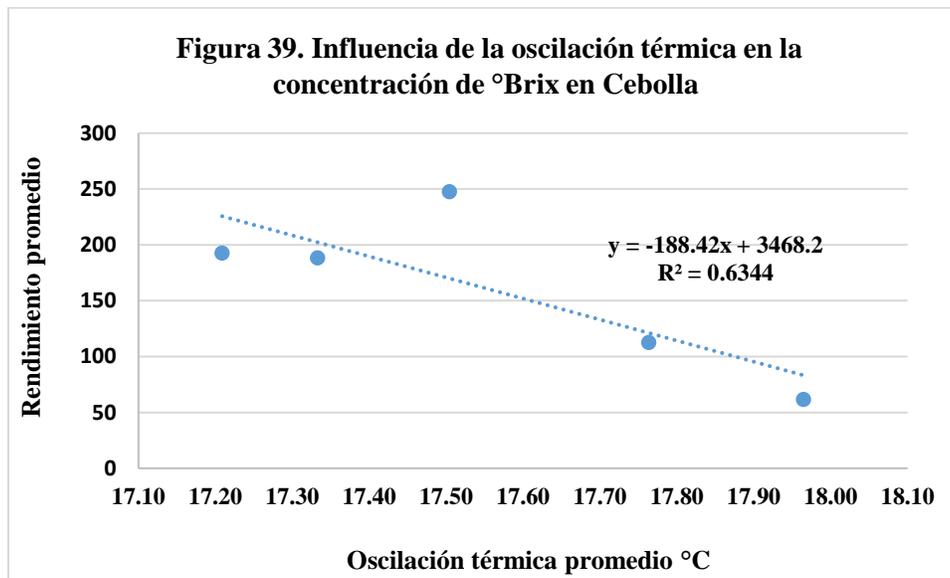
El otro parámetro de la temperatura que influyó en la concentración de °Brix, fue la oscilación térmica, para lo cual se realizó un análisis de regresión lineal simple. El análisis de varianza de dicha regresión arrojó diferencias estadística significativas, como se muestra en el Cuadro 20.

Cuadro 20. Análisis de varianza de la regresión lineal entre la oscilación térmica promedio y la concentración de °Brix

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	1	93,147.03	93,147.03	12.92	0.037
Error	3	21,629.80	7,209.93		
Total corregido	4	114,776.82			

Calculado contra el modelo $Y=0$
 Fuente: Elaboración propia

El análisis de regresión indica que conforme aumenta la oscilación térmica, disminuye la concentración de °Brix encontrando que el 63 % de esta variación se debe al comportamiento de la oscilación térmica, y que por cada 0.1 °C, la concentración disminuye 18.8 °Brix. Ver **Figura 39**.



Fuente: Elaboración propia

7.4. Constante térmica

El desarrollo de la cebolla fue afectado por la velocidad de acumulación de las unidades calor, encontrando que una de las consecuencias del incremento de la temperatura durante el periodo de desarrollo entre el trasplante y la flexión de la hoja, fue más corto conforme la cebolla se

trasplantó más tarde. Las cebollas trasplantadas en la primera fecha, acumularon una constante térmica de 2,621.88 °C, tuvieron un periodo de desarrollo que duró 120 días, mientras que los tratamientos donde las cebollas se trasplantaron más tarde tuvieron un periodo de 110 días, acumulando un promedio de 2,359.08 °C.

Una de las razones por las cuales el periodo de desarrollo de la cebolla fue más corto en los tratamientos trasplantados más tarde puede deberse a que las temperaturas se incrementaron al final del ciclo vegetativo, con lo cual se aceleró la maduración de la planta.

El tratamiento que se trasplantó primero, presenta los valores de temperatura más altos, debido a que en las primeras etapas de desarrollo de la planta, la temperatura fue más alta que el resto de los tratamientos, lo que pudo afectarla en su desarrollo al durar más tiempo con temperaturas cálidas antes de llegar a la bulbificación. Esto sugiere que la constante térmica influye de manera diferenciada en las distintas etapas de desarrollo de la cebolla (Cuadro 21 y 22).

Cuadro 21. Fecha de siembra, días a cosecha y temperatura acumulada para la cebolla trasplantada cada semana

Fecha de trasplante	Días a cosecha	Temperatura Acumulada °C			
		Máxima	Mínima	Promedio	Oscilación térmica
07-nov	120	3,663.01	1,580.75	2,621.88	2,082.26
15-nov	115	3,493.46	1,482.86	2,488.16	2,010.60
22-nov	110	3,333.72	1,390.74	2,362.23	1,942.98
29-nov	110	3,342.93	1,371.18	2,357.05	1,971.74
06-dic	110	3,356.13	1,362.03	2,359.08	1,994.10

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 21. Análisis de varianza (Peso de cebolla): Temperatura promedio

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	1	345,227.914	345,227.914	72.377	0.003
Error	3	14,309.592	4,769.864		
Total corregido	4	359,537.506			

Fuente: Elaboración propia

7.5. Análisis bromatológico

A pesar de que no se encontraron diferencias estadísticas significativas con respecto al análisis bromatológico, sí se observa que el tratamiento que se desarrolló bajo las temperaturas más bajas tuvo la mayor concentración de proteínas, lo cual también puede estar relacionado con la reacción que tienen algunas especies vegetales de concentrar proteínas en sus células como un mecanismo de defensa contra las bajas temperaturas. Este proceso puede contribuir al aumento de materia seca en la cebolla y por lo tanto en el rendimiento.

Los resultados de los análisis bromatológicos en cuanto a fibra, proteína y cenizas (Cuadro 23) no se encontró diferencia significativa en ninguno de los casos y se puede observar que la cantidad es muy similar en cada una de ellas, eso quiere decir que aunque se modifique la fecha y densidad en el cultivo, este no modificará su composición por lo menos en cuanto a las características que se evaluaron.

Cuadro 23. Resultados de Análisis Bromatológicos

Tratamiento	Fibra	Proteína	Ceniza
07-nov	5.86a	7.69a	5.92a
15-nov	6.16a	8.95a	5.44a
22-nov	6.09a	9.53a	5.87a
29-nov	6.57a	8.35a	5.77a
06-dic	6.23a	6.85a	5.26a

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales, significancia de 0.05

Fuente: Elaboración propia

Después de aplicar la fórmula para cada compuesto, se determinó la cantidad de CO₂ fijado por hectárea de cada uno de los tratamientos, encontrando que son estadísticamente similares, según lo reportado en una investigación realizada en Zinacantepec estado de México por (Paulino, 2013), la cantidad de CO₂ fijado en el cultivo de cebolla es superior al carbono fijado de pino en los bosques que corresponde al 0.847 t ha⁻¹ al año, esto da una idea del potencial del cultivo como fijador de carbono, no obstante el mismo autor reportó que el bosque tropical

lluvioso fijaba 32.34 toneladas de CO₂ al año el cultivo de papa 30.08 toneladas de CO₂ al año, siendo estos muy superiores en cuanto a captura de carbono comparados con el cultivo de cebolla.

Aun cuando no hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (Cuadro 24) en referencia a la fijación de bióxido de carbono, sí se observa una mayor concentración en el tratamiento tres que fue el que se desarrolló en condiciones de temperatura más bajas, teniendo un valor de 1.56 CO₂ (tCO₂ eq/ha. Lo cual también puede estar relacionado con las bajas temperaturas bajo las cuales se desarrolló el tercer tratamiento. El incremento de CO₂ puede ser una consecuencia indirecta de las bajas temperaturas que a su vez provocaron el incremento de proteínas y azúcares y que como consecuencia de ello se tuvo un incremento de carbono.

**Cuadro 24. Equivalente de Fijación de Co₂
Total de la Planta**

Tratamiento	CO₂(tCO₂ eq/ha)
07-nov	1.28a
15-nov	1.43a
22-nov	1.56a
29-nov	1.52a
06-dic	1.44a

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales,
significancia de 0.05

Fuente: Elaboración propia

VIII. CONCLUSIONES

Peso de la cebolla

La oscilación térmica es determinante en el desarrollo del bulbo de cebolla, al aumentar la diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas. Una de las razones de ello puede ser que la cebolla es muy sensible a la variación diaria de la temperatura, pues durante las primeras horas de la mañana la planta se encuentra erguida, mientras que al medio día, durante las temperaturas máximas, la planta dobla sus hojas, lo que puede implicar pérdida de energía, luego entonces, entre más alta sea la oscilación térmica, mayor será el movimiento que tengan las hojas.

Las plantas que se desarrollaron bajo temperaturas máximas más altas tienen menor peso debido a que las altas temperaturas acortaron el ciclo de vida. Además, la cebolla ajusta el ángulo de la hoja con relación a los rayos solares al medio día cuando se tiene el mayor calentamiento para protegerse contra el estrés hídrico, afectando la capacidad de realizar la fotosíntesis.

Conforme aumentan los valores de temperatura mínima, se tiene también un incremento de los rendimientos. Esto puede estar relacionado con el hecho de que las cebollas trasplantadas más temprano tuvieron un mejor desarrollo durante el periodo antes de la bulbificación, pues estaban más alejadas de la temperatura mínima crítica para el desarrollo de las hojas. Por el contrario esta etapa del desarrollo ocurrió cuando las temperaturas estaban más cercanas al punto crítico de desarrollo en las cebollas que se trasplantaron en fechas más tardías.

Las cebollas trasplantadas durante las primeras fechas tuvieron un desarrollo prebulbificación adecuado, acumulando nutrientes en sus hojas. Esto permitió que las cebollas se encontraran en condiciones favorables cuando ellas estuvieron expuestas a las bajas, que indica que la planta debe entrar en un periodo de dormancia para soportar el frío, iniciando con ello el proceso de bulbificación.

Relación diámetro y peso de la cebolla

El diámetro y peso de la cebolla están altamente correlacionados, por lo que al conocer el diámetro del bulbo en el campo, se puede tener una estimación del rendimiento esperado en un predio.

Resultados grados Brix

Las plantas de cebolla que se desarrollaron bajo condiciones de temperaturas más bajas tuvieron una mayor concentración de grados Brix, lo cual puede deberse a la cebolla como otras especies de plantas reacciona a las bajas temperaturas, concentrando azúcares como un mecanismo de defensa para aclimatarse a temperaturas bajas, lo cual le permite soportar temperaturas que llegen al punto de congelación.

Constante térmica

Las plantas que se trasplantaron en más tarde tuvieron un periodo de vida más corto, lo cual puede deberse a que las temperaturas se incrementaron al final del ciclo vegetativo, con lo cual se aceleró la maduración de la planta.

Análisis bromatológico

A pesar de que no se encontraron diferencias estadísticas significativas con respecto al análisis bromatológico, sí se observa que el tratamiento que se desarrolló bajo las temperaturas más bajas tuvo la mayor concentración de proteínas, lo cual también puede estar relacionado con la reacción que tienen algunas especies vegetales de concentrar proteínas en sus células como un mecanismo de defensa contra las bajas temperaturas. Este proceso puede contribuir al aumento de materia seca en la cebolla y por lo tanto en el rendimiento.

Los resultados de los análisis bromatológicos en cuanto a fibra, proteína y cenizas no muestran diferencia significativa en ninguno de los casos y se puede observar que la cantidad es muy

similar en cada una de ellas, eso quiere decir que aunque se modifique la fecha y densidad en el cultivo, este no modificará su composición por lo menos en cuanto a las características que se evaluaron.

Fijación de CO₂

Después de aplicar la fórmula para cada compuesto, se determinó la cantidad de CO₂ fijado por hectárea de cada uno de los tratamientos en el presente trabajo, encontrando que son estadísticamente similares. Así mismo, según lo reportado en una investigación realizada en Zinacantepec, Estado de México por Paulino (2013), la cantidad de CO₂ fijado en el cultivo de cebolla es superior al carbono fijado de pino en los bosques que corresponde al 0.847 t ha⁻¹ al año, esto da una idea del potencial del cultivo como fijador de carbono, no obstante el mismo autor reportó que el bosque tropical lluvioso fijaba 32.34 toneladas de CO₂ al año el cultivo de papa 30.08 toneladas de CO₂ al año, siendo estos muy superiores en cuanto a captura de carbono comparados con el cultivo de cebolla.

Aun cuando no hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos en referencia a la fijación de bióxido de carbono, sí se observa una mayor concentración en el tratamiento tres que fue el que se desarrolló en condiciones de temperatura más bajas, teniendo un valor de 1.56 CO₂ (tCO₂ eq/ha). Lo cual también puede estar relacionado con las bajas temperaturas bajo las cuales se desarrolló el tercer tratamiento. El incremento de CO₂ puede ser una consecuencia indirecta de las bajas temperaturas que a su vez provocaron el incremento de proteínas y azúcares y que como consecuencia de ello se tuvo un incremento de carbono.

Es por lo anterior que las unidades de producción del cultivo de cebolla funcionan como una alternativa de fijación de carbono y, por ello, representan un servicio ambiental.

IX. LITERATURA CITADA

- A. P.G. 2003. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification of the orders and families of flowering plants: APG II. Botanical Journal of the Linnean Society. A.P. G. (Angiosperm Phylogeny group) 141: 399 - 436.
- Adamicki F., Nawrocka B., Dobrzański A., Felczyński K., Robak J., Szwejda J. 2005. Metodyka integrowanej produkcji cebuli. PIORIN, Warszawa: 38.
- Aguilar, M.R. 2006. Interacción entre especies. Fundamentos de Ecología. Noveduc.
- Aibara, I. y Miwa, K. 2014. Strategies for Optimization of Mineral Nutrient Transport in Plants: Multilevel Regulation of Nutrient-Dependent Dynamics of Root Architecture and Transporter Activity. Plant Cell Physiol. 55. (12). 2027–2036.
- Altieri, M.A. 1997. Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. 3a. Ed., CLADES. La Habana
- Assani, A., Moundanga, S. Beney, L. y Gervais, P. 2009. Vesicle formation in the membrane of onion cells (*Allium cepa*) during rapid osmotic dehydration. Annals of Botany. 104: 1389–1395.
- Awat G., T. Abdisa, K. Tolesa y A. Chali. 2010. Effect of intra-row spacing on yield of three onion (*Allium cepa* L.) varieties at Adami Tulu agricultural research center (mid rift valley of Ethiopia). Journal of Horticulture and Forestry, 2: 007-011.
- Bello, G., J. 2000. Ciencia Bromatológica: Principios Generales de los Alimentos. Ed. Diaz de Santos. Madrid.
- Ben Bond-Lamberty & Allison Thomson Temperature-associated increases in the global soil respiration record. 2010. *Nature* volume 464, pages 579–582 (25 March 2010).
- Bertaud, D.S. 1988. The Physiology of Sprouting and Flowering in Onion Bulbs: Photoperiod and temperature effects. Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for Master of Science in Plant Science, Massey University.

- Brewster J.L. 1997. Onions and garlic. In: Wien H.C. (ed.), The physiology of vegetable crops. CAB International, Wallingford, UK, 581–619.
- Brewster, J. L. 2008. Onions and Other Vegetable Alliums 2nd Edition. In Crop Production Science in Horticulture 15: 1-432.
- C. Robertson McClung and Seth J. Davis.2010. Ambient Thermometers in Plants: Minireview From Physiological Outputs towards Mechanisms of Thermal Sensing. Current Biology 20, R1086–R1092, Elsevier Ltd All rights reserved DOI 10.1016/j.cub.2010.10.035
- C. Robertson McClung¹Seth J.Davis². 2010 Ambient Thermometers in Plants: From Physiological Outputs towards Mechanisms of Thermal Sensing. Cell Press.
- Caruso, G., Conti, S., Villari, G., Borrelli, C., Melchionna, G., Minutolo, M., Russo, G., y Amalfitano, C. 2014. Effects of transplanting time and plant density on yield, quality and antioxidant content of onion (*Allium cepa* L.) in southern Italy Scientia Horticulturae 166: 111-120. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.12.019>
- Castaños, C. M. 2000. Horticultura: Manejo Simplificado. U.A.CH. Chapingo, México.
- Chope, G. A., Cools, K., Hammond, J. P., Thompson, A. J. y Terry, L.A. 2012. Physiological, biochemical and transcriptional analysis of onion bulbs during storage. Annals of Botany. 109: 819–83
- Chope, G. A., Cools, K., Hammond, J. P., Thompson, A. J. y Terry, L.A. 2012. Physiological, biochemical and transcriptional analysis of onion bulbs during storage. Annals of Botany. 109: 819–831.
- Clark, J.E. y Heath O.V.S. 1962. An investigation into the growth substance content of bulbing onions. Journal of Experimental Botany. 13 (38): 227-249.
- CNA.2015. Información Climatológica. CNA.smn.cna.gob.mx/o/información-climatológica consultado en enero 2017.
- David Whitehead; Forests as carbon sinks benefits and consequences, *Tree Physiology*, Volume 31, Issue 9, 1 September 2011, Pages 893–902, <https://doi.org/10.1093/treephys/tpr063>

- Eugene P. ODUM – Alumni Foundation Professor of Zoology – University of Georgia – Athens, Georgia 1971. FUNDAMENTALS OF ECOLOGY. (Third Edition) : W. B. Saunders, Comp. Philadelphia – London - Toronto
- FAO. Cambio climático y seguridad alimentaria <http://www.fao.org/climatechange/16615-05a3a6593f26eaf91b35b0f0a320cc22e.pdf>
- FAO. Ss/f.cambhio climático y seguridad alinmentaria. FAO. www.FAO.Org/climatechangel.consultado: octubre de 2018
- FAOSTAT (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Dirección de Estadística). 2016. Producción/Cultivos/Cebolla Seca. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize> Consulta: 08/08/2018.
- Fritsch, R.M. y Friesen, N. 2002. Evolution, domestication and taxanomy In Allium Crop Science: Recent Advances 5-30 (Eds H. D. Rabinowitch and L. Currah). Wallingford, UK: CAB International.
- Galeone, C., Pelucchi, C., Levi, F., Negri, E., Franceschi, S., Talamini, R., Giacosa, A. y La Vecchia, C. 2006. Onion and garlic use and human cáncer. Am. J. Clin. Nutr.; 84: 1027-1032.
- Google Earth. 2016a. US Depto. of State Geographer. Image Lansat. ©2016. ORIONME. ©Google.
- Grace J. 2004. Understanding and managing the global carbon cycle. Journal of Ecology. 92. 189 – 202 <https://doi.org/10.1111/j.0022-0477.2004.00874.x>
- Haemig P.D. (2011) Leyes de la Ecología Populacional. ECOLOGÍA.INFO 23 <http://www.xn--ecologa-dza.info/leyes.htm>
- Hanelt, P. 1990. Taxonomy, Evolution and history In Onions and Allied Crops, Vol. 1, 1-26 (Eds H. D. Rabinowitch and J. L. Brewster).Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Hatfield, J. L. y Prueger, J. H. 2015. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. Weather and Climate Extremes. 10: 4-1 <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001>
- Hurtado, G.B. 2003. Guía para la toma de muestras de plantas. Un enfoque práctico. Folleto para productores No. 1. 12 Campo Experimental del Bajío: CIRNEINIFAP.

- Ikeda H., Kinoshita T., Yamamoto T., y Yamasaki, A. 2019. Sowing time and temperature influence bulb development in spring-sown onion (*Allium cepa* L.). *Scientia Horticulturae* 244 242–248. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.09.050>
- Integrated Taxonomic Information System (ITIS). *Allium cepa* L. Taxonomic Serial No. 42720. 2018. Disponible en: https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=42720#null Consulta: 07/06/2018.
- Isenberg, F.M. y Ang, J.K. 1964. Effect of maleic hydrazide field spray on storage quality of onion bulbs. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* Núm. 84. 378-385. Kafkafi, U. 2005. Global aspects of fertigation usage. In: Optimizing the utilization of water and nutrients. In International Symposium on fertigation 183 Beijing/China.
- Ishwori P., Gautam, B. K., y Govinda P. 2006. Evaluation of Different Varieties of Onion and Their Transplanting Times for Off-Season Production in Mid Hills of Nepal. *Nepal Agric. Res. J. Vol. 7, 2006* 21 DOI: <https://doi.org/10.3126/narj.v7i0.1862>
- J. E. Lancaster, C. M. Triggs, J. M. DE Ruiter y P. W. Gandar. 1996. Bulbing in Onions: Photoperiod and Temperature Requirements and Prediction of Bulb Size and Maturity. *Annals of Botany* 78: 423–430
- Jones, H. G., y Rotenberg, E. 2001. Energy, Radiation and Temperature Regulation in Plants. ELS. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.A0003199.PUB2>
- Kalbarczyk, R. y Kalbarczyk, E. 2015. The adverse effect of the long-term trend of the air temperature in Poland on the yield of onion. Niekorzystny przebieg wieloletniej temperatury powietrza w Polsce ograniczającej plon ogólny cebuli (*Allium cepa* L) *Journal of Central European Agriculture*, 2015, 16(1), p.41-53 . doi: 10.5513/JCEA01/16.1.1538
- Lancaster, J.E., Triggs, C. M., De Ruiter, J. M. y Gandar, P. W. 1996. Bulbing in Onions: Photoperiod and Temperature Requirements and Prediction of Bulb Size and Maturity. *Annals of Botany*. 78: 423–430.
- Lescay, E., Moya, C., INFLUENCIA DE LOS FACTORES CLIMÁTICOS SOBRE ALGUNAS VARIABLES MORFOAGRONÓMICAS EN LA PRODUCCIÓN DE BULBOS DE

CEBOLLA (*Allium cepa*, L.) EN LA REGIÓN ORIENTAL DE CUBA. Cultivos Tropicales [en línea] 2006, 27 (Sin mes) : [Fecha de consulta: 19 de enero de 2018] Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193215912013>

Lipinski V.M., S. Gaviola y J.C. Gaviola. 2002. Efecto de la densidad de plantación sobre el rendimiento de cebolla c.v. cobriza inta con riego por goteo. Agricultura técnica. Vol. 62. No. 4. Pp. 1-10.

Locascio, J.S. 2005. Fertigation in Micro-irrigated Horticultural Crops: Vegetables. Optimizing the utilization of water and nutrients. In International Symposium on fertigation 183 Beijing/China.

López Urquidez, G., Gastélum González, S., Díaz Valdés, T., Ayala Tafoya, F., Madueño Martínez, J., y López Orona, C. A. 2017. Incremento del tamaño y peso del bulbo de cebolla (*Allium cepa* L.) por translocación de nutrientes. Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas, 8: 1647-1652. <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v8i7.519>

López-Urquidez, G.A. Madueño-Martínez, J. I., Bojórquez-Jacobo, F., Vega-Gutiérrez, T.A. y López-Orona, C.A. 2013. Agroecología. UAS.

Marcos, J.B., Martínez, C.A., Arteaga, R.T., López, U.G. 2015. Evaluación del potencial de captura de carbono en sistemas de producción de maíz nativos en tres condiciones ambientales. Universidad Autónoma del Estado de México. El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México.

Mata, V. H. 2011. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación del Noreste. Libro Técnico No. 5.

Miedema, P. 1992. The effects of temperature on sprouting of onion bulbs. Onion Newsletter for the Tropics, 4, 52–54.

Moreno, R. y Rambaldi, M. 2010. En la composición de las cebollas se ha de tener en cuenta su apreciable aporte de fibra y su contenido mineral y vitamínico, que la convierten en un excelente alimento regulador del organismo. Catálogo de verduras y hortalizas – CEBOLLA. Pregon Agropecuario. Disponible en: <http://www.pregonagropecuario.com/cat.php?txt=1099>

- Parmar, J.N., Zode N.G., Sable N.H., Rathod T.H., Mohod V.K., 2001. Evaluation of substrata and temperature for testing germination of onion (*Allium cepa*) seed in laboratory. *Annals of Plant Physiology*, 15, 126–129.
- Pastenes, C., Pimentel, P., y Lillo, J. 2004. Leaf movements and photoinhibition in relation to water stress in field-grown beans *Journal of Experimental Botany*, 56: 411. doi:10.1093/jxb/eri061
- Ramos Valencia, C.A. 1970. Influencia de la densidad de población en el rendimiento de cebolla (*Allium cepa*) cultivada en Santa Lucia, Atlántico (Colombia) por el sistema de siembra directa. *Acta agronómica*. Vol. 20. No. 1-2. Pp 30-3333
- Reveles-Hernández, M., Cid-Ríos, A., Velázquez-Valle, R., y Trejo-Calzada, R. 2013. Crecimiento, rendimiento y calidad de cebolla en dos densidades de plantación el Calera Zacatecas, México. *Agrofaz*. Vol. 13. No. 3. Pp 85-92.
- Reynolds-Henne, C. E., Langenegger, A., Nicole Schenk, J. M., Zumsteg, A., y Feller, U. 2010. Interactions between temperature, drought and stomatal opening in legumes. *Experimental Botany* 68: 37–43
- Rochette, P. y Hutchinson, G.L. “Measurement of soil respiration in situ: chamber techniques,” en Hatfield, J. y Baker, J.M. 2005. *Micrometeorology in Agricultural Systems*, Monografía ASA ,47: 247-286.
- Russo, V. M. 2003. Growth regulators Do Not increase onions bulb size or weight under Green house conditions. *HortScience*. 38 (4): 599-600.
- Sabina, A. 2012. Cebolla. *Gobedia*. Disponible desde: http://mx.globedia.com/cebolla_23
- Sandoval-Leyva, M.A. 2014. Rendimiento del Cultivo de Cebolla (*Allium cepa*) a Distintas Densidades de Siembra en el Valle de Culiacán. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa. México.
- Sasikala, P., K. y Pal, N. 2013. Growth analysis studies in onion (*Allium cepa* L.). *International Journal of Farm Sciences* 3 (1): 30-46.
- Shigyo, M. y Kik, C. 2007. Onion. *Vegetable II*. Fabaceae, Liliaceae, Solanaceae and Umbelliferae. In *Handbook of Plant Breeding*, 121-159.

- SIAP. 2017. Cierre de la producción agrícola por cultivo. En http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do
- Steer, B. T. 1980. The Role of Night Temperature in the Bulbing of Onion (*Allium cepa* L.) J. Agric. Res., 1980, 519-23 <https://doi.org/10.1071/AR9800519>
- Steer, B.T. 1980. The bulbing response to day length and temperature of some Australasian cultivars of onion (*Allium cepa* L.). Australian Journal of Agricultural Research, 31: 511–518.
- Steer, B.T., (1980b) The role of night temperature in the bulbing of onion (*Allium cepa* L.). Australian Journal of Agricultural Research, 31: 519–523.
- Tapia, F., M. L. 1999. El cultivo de la cebolla. Universidad de Chile. Santiago, Chile. Publicaciones Misceláneas Agrícolas N° 47.
- Tesfay, S. Z., Bertling, I., Odindo, A. O., Greenfield, P. L. y Workneh, T.S. 2011. Growth responses of tropical onion cultivars to photoperiod and temperature based on growing degree days. African Journal of Biotechnology. 10 (71): 15875-15882.
- Thomashow, M.F. (1999). Plant cold acclimation: freezing tolerance genes and regulatory mechanisms. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 50, 571–599. DOI: 10.1146/annurev.arplant.50.1.571
- Tom Shepherd and D. Wynne Griffiths. 2006. The effects of stress on plant cuticular waxes. New Phytologist. 171: 469–499 <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01826.x>
- Turchin P. 2001. Does population ecology have general laws? Oikos 94: 17-26.
- Victoria, J. F.; Costa, G. I.; Castro, C. T.; García, C. R. y Romojaro, C.C. 2010. Mesa del Castillo N. L. Balance de carbono en cultivos de agricultura intensiva. Iniciativas para una economía baja en carbono, 214-276.
- Villagrán, C.M. y Escaff, G.M. 1982. Efecto de la densidad de plantas y la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y calidad de bulbos de cebolla. Agricultura Técnica (Chile), 43: 209-205.
- Wang QL, Chen JH, He NY, Guo FQ. 2018. Metabolic Reprogramming in Chloroplasts under Heat Stress in Plants. Int J Mol Sci. 14;19(3). pii: E849. doi: 10.3390/ijms19030849.

- Wien, Ch. 2006. How onions grow big a review of onion physiology. Proc. Empire State Fruit Vegetable Expo. , Dep.of Horticulture, Cornell University, Ithaca, NY. 153154.
- Wilson, E. A. y Demmig-Adams, B. 2007. Antioxidant, anti-inflammatory, and antimicrobial properties of garlic and onions. Nutrition & Food Science, 37 (3): 178–183.
- Wittwer, S.H. y Sharma, R.C. 1950. The control of storage sprouting in onion by preharvest foliage sprays of maleic hydrazide. Science. 112: 597-598.
- Yoo, K.S., Pike, L., Crosby, K., Jones, R., Leskovar, D., 2006. Differences in onion pungency due to cultivars, growth environment, and bulb sizes. Sci. Hortic. 110, 144–149.
- Zar,J.H. 1984. Bioestatical Analysis. 2^a.ed., Pretence-Hall, Englewood Cliffs.